



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Tartu kolledž

**LAMMUTAMISELE KUULUVA TÜÜPKORTERELAMU  
KANDVATE ELEMENTIDE TAASKASUTAMISE  
VÕIMALUSTE ANALÜÜS**

**ANALYSIS OF THE RECOVERY POSSIBILITIES OF THE  
LOAD-BEARING STRUCTURES OF A PREFABRICATED  
APARTMENT BUILDING TO BE DEMOLISHED**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Patrik Voot

Üliõpilaskood: 165128EAEI

Juhendaja: Prof. Mihkel Kiviste

Tartu 2022

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

20. mai 2022

Autor: ..... Patrik Voot .....  
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....  
/ nimi ja allkiri /

# LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, Patrik Voot,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
**LAMMUTAMISELE KUULUVA TÜÜPKORTERELAMU KANDVATE ELEMENTIDE TAASKASUTAMISVÕIMALUSTE ANALÜÜS**

mille juhendaja on Prof. Mihkel Kiviste

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
- 

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

Üliõpilane: **PATRIK VOOT**

Üliõpilaskood **165128EAEI**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peeriala: Ehitiste projekteerimine

Lõputöö teema:

### **LAMMUTAMISELE KUULUVA TÜÜPKORTERELAMU KANDVATE ELEMENTIDE TAASKASUTAMISVÕIMALUSTE ANALÜÜS**

ANALYSIS OF THE RECOVERY POSSIBILITIES OF THE LOAD-BEARING STRUCTURES OF  
A PREFABRICATED APARTMENT BUILDING TO BE DEMOLISHED

Juhendaja: **Prof. Mihkel Kiviste**

mihkel.kiviste@taltech.ee

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teostada Kiviõlis, Keskpuiestee 43 asuvale hoonele tehnilise seisundi hindamine.
2. Pakkuda selle hoone jaoks välja erinevaid taaskasutusvõimalusi.

Töö keel: eesti keel

## Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Teema püstitus ja metoodika välja töötamine	11.11.2021
2. Kirjanduse läbi töötamine ning peatükkide kirjutamise algus	06.12.2021
3. Keskpuiestee 43 hoonega tutvumine ning esmased uuringud	21.12.2021
4. Keskpuiestee 43 hoonest katsetatava materjali hankimine	09.01.2022
5. Laborikatsed Keskpuiestee 43 hoonest saadud materjalidega	20.01.2022
6. Keskpuiestee 43 hoone külastus ja visuaalse hindamise teostamine	26.01.2022
7. Laborikatsete lõpp ning dokumenteerimine	22.02.2022
8. Katsetulemuste ja järelduste vormistamine	24.02.2022
9. Kirjanduse läbi töötamise ning peatükkide kirjutamise lõpp	10.05.2022
10. Töö vormistamine	15.05.2022
11. Kokkuvõtte eesti keeles	16.05.2022
12. Kokkuvõtte inglise keeles	17.05.2022
<b>Lõputööde 95% ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks</b>	<b>18.05.2022</b>

**Lõputöö esitamise tähtaeg:**

**20. mai 2022**

Lõputöö ülesanne välja  
antud:

11.11.2021

Juhendaja:

Prof. Mihkel Kiviste

Ülesande vastu võtnud:

Patrik Voot

Avalikustamise piirangu  
tingimused: puuduvad

# SISUKORD

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks .....	3
SISUKORD.....	6
EESSÕNA .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. Ehitus- ja lammutusjääkide teke ning käitlus globaalselt ja Eestis.....	11
1.1 Ehitusjäätmete probleemi olemus suurimates majandusplokkides.....	11
1.2 Eesti elamufond. ....	13
1.3 Ehitusjäätmete probleemi olemus Eestis.....	14
1.3.1 Pinnasejäätmete teke ja taaskasutus Eestis. ....	16
1.3.2 Betoonijäätmete teke ja taaskasutus Eestis. ....	17
1.3.3 Bituumenjäätmete teke ja taaskasutus Eestis. ....	18
1.3.4 Metallijäätmete teke ja taaskasutus Eestis.....	19
1.3.5 Muu ehitus- ja lammutuspraht. ....	20
2. Ehitusmaterjalide taaskasutus.....	21
2.1 Ringmajandus.....	21
2.2 Euroopa jäätmehierarhia. ....	23
2.3 Variant 1: selekteeriv demontaaž. ....	23
2.3.1 Hoone konserveerimine.....	26
2.4 Variant 2: ehitusjäätmete kasutamine uue betooni valmistamisel. ....	26
2.4.1 Betoonijäätmetest toodetud killustiku kasutamine betooni täitematerjali asendajana. ....	27
2.4.2 Silikaatkivi killustiku kasutamine betooni täitematerjali asendajana. ....	29
2.5 Variant 3: traditsiooniline lammutamine. ....	31
3. Uuritava hoone kirjeldus ja katseliste uuringute metoodika .....	34
3.1 Pilootprojekti hoone.....	34
3.2 Visuaalne hindamine.....	36
3.2.1 Hoonete ehitustehnilise seisukorra hindamise metoodika.....	37
3.2.2 Betooni karboniseerumine. ....	39
3.3 Katselised uuringud. ....	40
3.3.1 Betoonkatsekehade puurimise metoodika.....	40
3.3.2 Silikaattelliste proovikehade võtmine. ....	42
3.3.3 Karboniseerumise sügavus. ....	43
3.3.4 Tiheduse määramine. ....	44
3.3.5 Betooni ja silikaattellise purustav survetugevus. ....	46

3.3.6	Mittepurustav survetugevus.....	49
3.3.7	Kaitsekihi paksus. ....	52
4.	Katsete tulemused ja analüüs .....	53
4.1	Visuaalne hindamine.....	53
4.2	Karboniseerumise sügavus. ....	59
4.3	Tiheduse ning purustava survetugevuse määramine. ....	60
4.4	Mittepurustav survetugevus.....	63
4.5	Kaitsekihi paksus. ....	64
4.6	Muud TTÜ-s teostatud uuringud. ....	65
4.6.1	Siseõhu mikrobioloogiline reostus.....	65
5.	Taaskastusvõimalused .....	67
5.1	Keskpuiestee 43 korterelamu selekteeriv demontaaž hoone osade kaupa. ...	67
5.2	Keskpuiestee 43 kasutamine potentsiaalse materjalipangana ning võimalike saaduste loetelu. ....	70
5.2.1	Materjalipank.....	70
5.2.2	Keskpuiestee 43 potentsiaalsed ehitusmaterjalide saadused. ....	71
5.3	Üldised taaskasutusvõimalused peamistele ehitusmaterjalidele. ....	73
	KOKKUVÕTE .....	77
	SUMMARY.....	79
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	81

## EESSÕNA

Käesoleva magistritöö sõnastasid professor Mihkel Kiviste ning töö autor. Magistritöö eesmärk oli uurida lammutatava tüüpkorterelamu kandvate tarindite taaskasutusvõimalusi. Andmed ning katsekehad koguti Kiviõlist, Keskpuiestee 43 tänaval asuvast korterelamust. Katsed viidi läbi TTÜ Tartu kolledži laboris vanemlektori Egge Haiba ja professor Mihkel Kiviste juhendamisel.

Autor tänab nõuannete ja koostöö eest professor Mihkel Kivistet. Lisaks tänab autor inseneriteaduskonna programmijuhti Simo Ilometsa, inseneriteaduskonna emeriitprofessorit Urve Kallavust ja nende meeskonda Keskpuiestee 43 katsete läbiviimisel abistamise eest ning konsultatsioonide eest.

**Võtmesõnad:** taaskasutus, betoonelement, silikaattellis, tüüpkorter, magistritöö



## SISSEJUHATUS

Ehitussektor on iga majanduse üks tähtsamaid sektoreid, mis moodustab riigiti ligikaudu 10% kogu majandustegevusest. Tänapäeval on mitmed maailma juhtivad riigid alustanud vestluse, mis hõlmab ehitussektori mõju globaalsele ökosüsteemile. Aina enam levivad mõisted nagu: taaskasutus, ringmajandus, ökoloogiline jalajälg jne. Ehitussektori suurim kahju loodusele tuleb ehitusmaterjalide tootmisest, millest on suurima jalajäljega betoon, mida kasutatakse korterite, tööstushoonete, eramute ja muude hoonete ning taristu ehitamisel. Betooni valmistamiseks kasutatakse erinevaid täiteaineid ning hulgaliselt joogivee nõuetele vastavat vett. Loodussäästlikkuse vaatevinklist tuleks leida vanadele, korras olevatele tehaseliselt toodetud ehituselementidele taaskasutusvõimalused, vältimaks uute tootmist ja vanade purustamist. Lisaks oleks vaja taaskasutusvõimalusi ka muudele vanadele ehitustoodetele, näiteks silikaattellistele. Tuleviku huvides on vaja leida tehnoloogiad, mis võimaldavad vähendada ja seejärel juba vältida ehitusjäätmete teket.

Käesolev magistritöö on kirjutatud uuringute põhjal, mis olid osa Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi riigihankest „Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuuring – 1. etapp, mille uuringute osa viis läbi Tallinna Tehnikaülikool(2021-2022, edaspidi Lammutushange). Lammutushankes lõid kaasa mitmed TTÜ struktuuriüksuste uurimiserühmad: Ehituse ja Arhitektuuri instituudi liginullenergiahoonete uurimiserühm (projekti juht Simo Ilomets, ekspert Kristel Rebane, prof. Targo Kalamees), ehitusprotsessi uurimiserühm (lektor Tanel Tuisk, teadur Tiina Hain, abiprofessor tenuuris Ergo Pikas), ehituskonstruksioonide uurimiserühm (lektor Kristo Paalandi), Mehaanika ja tööstustehnika instituut (vanemteadur ja emeritprof. Urve Kallavus) ning nende juhendamisel ka üliõpilased. Magistritöö autor osales selles lammutusprojektis koos juhendajaga (ekspert Lammutushanke raames), panustades projekti uuritava hoone ehituskonstruksioonide visuaalse hindamise osa, silluste ja õõnespaneelide spetsifikatsiooni osa ning TTÜ Tartu kolledžis läbi viidud katseliste uuringute osa.

Magistritöö esimese osa peamine eesmärk on tutvustada lugejale globaalse jäätme probleemi olemust, tutvustada sama probleemi olemust Eestis ning viia lugeja kurssi erinevate taaskasutusvariantidega. Teise osa eesmärk on tutvustada lugejale autori osalusega tehtud katsete metoodikat, mida rakendati ühe tüüpelamu konstruktiivsete tarindite hindamisel. Uuritavale hoonele tehti visuaalne hindamine, mõõdeti karboniseerumise sügavust, tehti mittepurustavad katsed Schmidt

põrkevasaraga, leiti purustav survetugevus survepressiga Form-Test Mega 7 ning mõõdeti betoonelemendi kaitsekihi paksust. Lisaks analüüsiti katsete tulemusi ning järeldati uuritava hoone tarindite taaskasutuspotentsiaali. Viimases osas pakutakse uuritava hoone elementidele taaskasutusvõimalusi.

Käesoleva magistritöö teema on aktuaalne, kuna ehitusjäätmete hulk ning ehitusest tulenev ökoloogiline jalajälg on aina suurenev ning ehitustegevus, suureneva elanike arvu tõttu, lähiajal ei aeglustu. Ehitusmaterjalide tootmisele kulutatavate ressursside vähendamiseks on vaja kiirkorras leida lahendused. Maailma varud on otsa saamas ning ökoloogilise jalajälje suuruse ja ehitussektori laienemisega kaasnevad tagajärjed on samuti lähenemas.

# **1. EHITUS- JA LAMMUTUSJÄÄKIDE TEKE NING KÄITLUS GLOBAALSELT JA EESTIS**

## **1.1 Ehitusjätmete probleemi olemus suurimates majandusplokkides.**

Iga riigi majanduse ehitussektor on kahtlemata oluline osa selle riigi majanduslikust tervikust. Euroopas moodustab iga riigi ehitussektor ligikaudu 10% SKP-st ning pakub tööd umbes 20 miljonile isikule [1]. Ehitustegevused kasutavad ära paraku ligi 32% maailma aastastest ressursidest – 12% veest, kuni 40% energiast, umbes 40% mineraalidest, 25% puidust [2]. Sedavõrd suure majandussektori puhul on paratamatu ka väga suuremahulise jäätmete hulga kaasnemine. Ehitus- ja lammutusjätmed tulevad peamiselt hoonete, sildade ja teede ehitusest ning nende renoveerimisest ja lammutamisest.

Euroopa komisjon toob oma 2016 raportis välja, et mahu poolest on suurima jäätmevooga ehitus- ja lammutusjäägid, mis moodustavad umbes kolmandiku kõikidest Euroopa Liidus tekkinud jäätmetest [3]. Ehitus- ja lammutusjääkide suurimad mahud on riigiti erinevad, kuid enamasti tulevad need järgmistest materjalidest: pinnas, betoon, bituumentooted, kips, metallid, puit, klaas, plastmassid jne. Jäätmete raamdirektiivis on seatud eesmärk korduskasutada, taaskasutada või võtta ringlusesse 70% Euroopa Liidu ehitus- ja lammutusjätmetest [1].

Ehitus- ja lammutusjätmetest tekitatud reostus on tõsine globaalne mure. Selleks, et saada aimu probleemi tõsidusest võib analüüsida maailma suurimate majandusplokkide või riikide tekitatud jäätmete hulkasid. International Comparison Program, edaspidi ICP, on üks põhiline statistikat koguv organisatsioon maailmas, mida majandab Maailmapank koostöös Ühinenud Rahvaste Organisatsiooniga [4]. ICP 2017 avalikustatud raportis selgub, et suurima majandusega plokid on Euroopa Liit, Ameerika Ühendriigid ja Hiina RV – need moodustavad umbes 48,7% maailmamajandusest [5]. Lisaks eelmainitud majandushiidudele on veel märkimisväärsed India (6,7%), Jaapani (4,3%), Venemaa (3,2%), Ühendkuningriikide (2,5%), Brasiilia (2,5%), Indoneesia (2,4%), Mehhiko (2,1%) ja Türgi (1,9%) majandused. Ülejäänud riigid moodustavad kokku 25,7% kogu maailma majandusest [5]. Kuna analüüsi eesmärk on anda kõigest aimu probleemi olemusest siis vaatleb autor majandustegevuse analüüsi tarbeks 3 suurimat majanduslikku plokki, mis sisaldavad suurt osa nendest riikidest – Euroopa Liitu, USA-Mehhiko- Kanada lepingut ja Regionaalset kõikehõlmavat majanduspartnerlust.

Eurostati andmetel tootis kogu Euroopa Liidu majandustegevus aastal 2018 kokku 2337 miljonit tonni jäätmeid, millest 35,9% ehk 839 miljonit tonni jäätmeid tekkis ehitussektoris [6]. Ehitussektori tervest jäätmete hulgast on umbes kolmandik betoon. Euroopa Liidus tekkinud jäätmete kogu mahust taaskasutatakse 90% ehk 755 miljonit tonni [7]. Taaskasutuse määr ei ole tingitud tehniliste raskuste tõttu vaid pigem majanduslikest põhjustest – firmade jaoks ei ole üldjuhul majanduslik kasum piisavalt motiveeriv [8].

Teine suur majandusplokk lisaks Euroopa Liidule on USA- Mehhiko- Kanada leping. EPA ehk United States Environmental Protection Agency andmetel ei olnud USAs olukord eriti parem kui Euroopas. 2018 aastal tekkis ehitus- ja lammutusjäätmeid kokku 600 miljonit tonni, millest taaskasutati 75,83% ehk 455 miljonit tonni, ülejäänud 24,17% ehk 145 miljonit tonni teiseldatai prügilatesse [9]. Mehhikos tekib iga-aastaselt ligikaudu 6,5 miljonit tonni ehitus- ja lammutusjäätmeid, taaskasutamiseks ei ole veel väga palju tegeletud, kuid viimastel aastatel on suunatud suuremaid investeeringuid sellesse sektorisse [10]. Kanada taaskasutuskultuur ei ole veel väga arenenud, üks värskemaid uuringuid pärineb aastast 2010, kus selgitati välja, et Kanadas tekkis tol aastal ligikaudu 4 miljonit tonni ehitus- ja lammutusjäätmeid, millest taaskasutati 16% ehk 653000 tonni. [11]

Viimaks vaatleme Hiina, Austraalia ja Jaapani ehitus- ja lammutusjäätmete käsitlust – need riigid on põhilised majandusmootorid 2022 jaanuaris jõustunud Regionaalse kõikehõlmava majanduspartnerluse lepingus. Beijia Huang ja teised leidsid oma uuringus, et ehitus- ja lammutusjäätmed moodustavad umbes 30-40% kõikidest jäätmetest Hiinas. Uuring leidis veel, et enamus sellest teiseldatakse salaja loodusesse või viiakse prügilasse, taaskasutatakse ainult 5% jäätmetest. [12]. Hiina aastane ehitus- ja lammutusjäätmete tootlus on rohkem kui 1,5 miljardit tonni ja kasvab, mis teeb riigist suurima ehitus- ja lammutusjäätmete tootja maailmas [12]. Tegelik jäätmete hulk võib olla veelgi suurem, kuna Hiina kohta tõeväärseid andmeid on raske saada. Lisaks sellele võib olla erinev ka Hiina tegelik ehitus- ja lammutusjäätmete taaskasutamise hulk. Teine suurim riik Regionaalses kõikehõlmavas majanduspartnerluses on Austraalia. Rita Yi Man Li täheldab enda uuringus, et umbes 40% Austraalias tekkinud ehitus- ja lammutusjäätmetest teiseldatakse prügilatesse [13]. Austraalia valitsuse andmed enamjaolt kinnitavad seda. Valitsuse andmetel tekkis aastal 2008-2009 kokku 19 miljonit tonni ehitus- ja lammutusjäätmeid, millest 55% taaskasutati [14]. Kolmanda riigi ehk Jaapani ehitussektor toodab Jaapani Ehitustöövõtjate liidu andmetel aastas umbes 380 miljonit tonni jäätmeid, millest 20% ehk 75,4 miljonit tonni on ehitus- ja lammutusjäätmeid, millest taaskasutatakse 82% [15].

Siinkohal peab märkima, et andmed pärinevad kõik erinevatest allikatest ning ajavahemikust 2009-2018. Sellegipoolest ei mõjuta see ülevaadet suuremast pildist, kuna sektoreid tulebki vaadelda 5-10 aastaste ajavahemikena. Analüüsist selgub probleemi olemus: ajavahemikus 2009-2018 tootsid suurimad majanduslikud liidud kokku 3048,9 miljonit tonni ehitus- ja lammutusjäätmeid, millest taaskasutati ligikaudu 41% ehk 1247,03 miljonit tonni.

## **1.2 Eesti elamufond.**

Enne Eesti jäätmeprobleemi analüüsimist on vaja vaadelda siseriikliku olemasoleva kinnisvara seisust ehk hoonefondi. Hetkel toimub globaalselt tugev linnastumine, kus paljudes riikides vähenevad väikesemate linnade või asulate elanikkonnad [16]. Erinevate riikide elanikud koonduvad rohkem tõmbekeskustesse, milledeks on pealinnad ning suuremad linnad. Samuti on Eestis olukord, kus aina enam tekivad erinevates piirkondades tühjad või pooltühjad eramud ja kortermajad. Selliste probleemsete elamutega kaasnevad mitmed negatiivsed küljed: ümbritsevate hoonete turuväärtus langeb, tekivad ohud seoses hoonete amortiseerumisega ning langeb selliste keskuste elukvaliteet.

Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi hinnangul on ligikaudu pooled Eesti hoonefondis liigitatud elamud valminud NSV Liidu ajal ning nendest 80% on tõenäoliselt kasutusel kuni aastani 2050. Hoonete hinnanguline eluiga on ehitise elukaare teooria kohaselt 50-70 aasta ringis, mis tähendab, et need NSV Liidu ajal ehitatud hooned on liiga kaua kasutuses. [17] Selliste eluea lõppu jõudvate hoonetega on sisuliselt kaks teguviisi: hoone rekonstrueerida või hoone maha lammutada.

Esimene variant ehk hoone rekonstrueerida on optimaalne variant, kuna energiakulu hoone lammutamisele ning jäätmete tekkega tegelemine kaob täielikult. Eesti näitel on võimalik säästa kütteenergiat kuni 65% ning vähendada elektrikulud kuni 50% [17]. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium on loonud „Hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia“, mille peamine eesmärk on enne 2000. aastat ehitatud hoonete rekonstrueerimine täies mahus aastaks 2050. See tähendab, et kõikidel, enne 2000. aastat ehitatud hoonetel, tõstetakse energiamärgis klassile C, mis on energiatõhususe miinimumnõue. Ministeeriumi sõnul muudab nende hoonete rekonstrueerimine hoonefondi ohutumaks, taskukohasemaks ning visuaalselt väärtuslikumaks. [18]

Hetkeseisuga vajavad aastaks 2050 renoveerimist ning rekonstrueerimist ligikaudu 100000 üksikelamut, millede kogupindala on 14 miljonit m<sup>2</sup>, lisaks 14000 korterelamut kogupindalaga 18 miljonit m<sup>2</sup> ning viimaks 27000 mitteiluhoonet kogupindalaga 22 miljonit m<sup>2</sup> [18].

Teine variant on hoone lammutamine. Hoonete lammutamine on tulevikus levinud nähtus just äärelinnades ning väikesemates valdades. Statistikaameti prognooside kohaselt toimub Eestis aastaks 2045 rahvaarvu vähenemine 2,7% võrra. Probleemi olemus on tunduvalt suurem Ida-Viru, Järva, Valga ja Jõgeva maakondades, kus toimub ligikaudu 30%-ne rahvastiku vähenemine [16]. Eriti kriitiline on olukord Ida-Virumaal, kus hetkel elab ligikaudu 140000 inimest 70000 eluruumis. Aastaks 2045 prognoosib statistikaamet selle maakonna kahanemist 33% ehk 50000 inimese võrra [16].

Vähenev rahvastik on oluline nähtus sellepärast, et ekspertide hinnangu alusel kaasneb sellega ulatuslik elamute kasutusest välja langemine. Ennustatakse, et aastaks 2050 võib kasutusest välja langeda umbes 40000 üksikelamut kogupindalaga 4,8 miljonit m<sup>2</sup>, lisaks 5300 korterelamut kogupindalaga 5 miljonit m<sup>2</sup>. Ennustatakse, et rahvaarvu mõjude tõttu tühjenevad esmajärjekorras äärealade elamud, kus võib langeda kasutusest välja kuni 80%. [18] Lüganuse vallas, täpsemalt Kiviõli linnas on asustamata eluruumide hulk kasvanud 18 aastaga ligikaudu 19% [19].

Pooltühjade korterelamute säilitamine praegusel kujul ei ole jätkusuutlik ega ka efektiivne, korterelamute elanikud ei suuda katta kõiki võlgnevusi, mille tõttu võib olla pärsitud elutähtsate teenuste toimimine [16]. Sellistes äärelinnades hakkab ilmselt levima süstemaatiline elamute kokku koondamine. Pooltühjadest hoonetest paigutatakse elanikud kokku ning täidetakse kvaliteetsemad, rekonstrueeritud hooned.

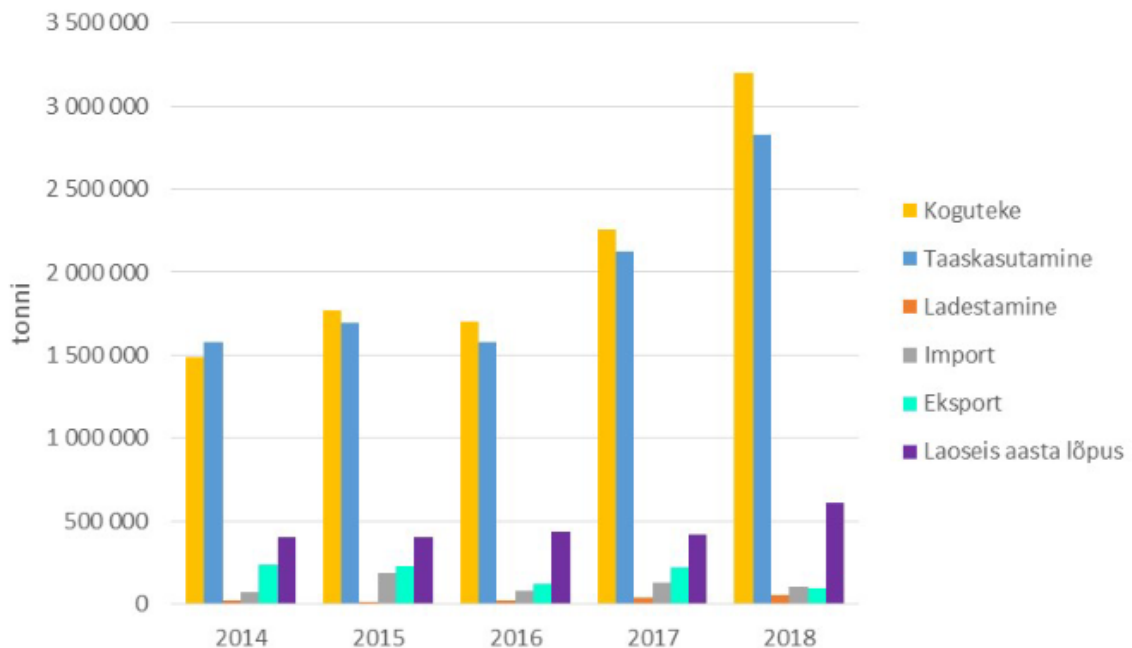
Ebavajalikud hooned või hooned, mida ei ole võimalik rekonstrueerida, on vaja kasutusest välja võtta. Kasutusest välja võtmisega kaasneb ka vajadus need hooned lammutada, mille käigus tekib hulgaliselt ehitus- ja lammutusjäätmeid.

### **1.3 Ehitusjäätmete probleemi olemus Eestis.**

Ehitussektor on Eestis väga tähtis majanduslik valdkond. Kõikidest Eestis tegutsevatest ettevõtetest on 22% seotud arhitekti- ja inseneriteenuste, ehitusmaterjalide tootmise või kinnisvaraga – need ettevõtted panustavad majandusse iga-aastaselt 17% SKP-st. Lisaks sellele pakub ehitussektor tööd ligikaudu 8,7%-le töövõimelistest inimestest. [20]

Suure majandusliku mahuga kaasneb kahjuks ka suur ökoloogiline jalajälg. Ehitussektor toodab Tehnopolis Group tehtud uuringu „Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring“ andmetel umbes 9% kõikidest iga-aastastest jäätmetest. Aastal 2018 tekkis Eestis kokku ligikaudu 3,15 miljonit tonni ehitus- ja lammutusjäätmeid. Ehitussektori jäätmetest moodustas 62% pinnas, kivid ja süvenduspinnas, 14% betooni-, tellise- ja plaadijäätmed, 9% bituumenitaolised segud ning tõrvasaadused ja 8% metallid. 3,15 miljonist tonnist jäätmetest taaskasutati 2018 aastal ligikaudu 2,65 miljonit tonni ehk 84%. Enamus taaskasutatud materjalist rakendati pinnasetäitena. [20]

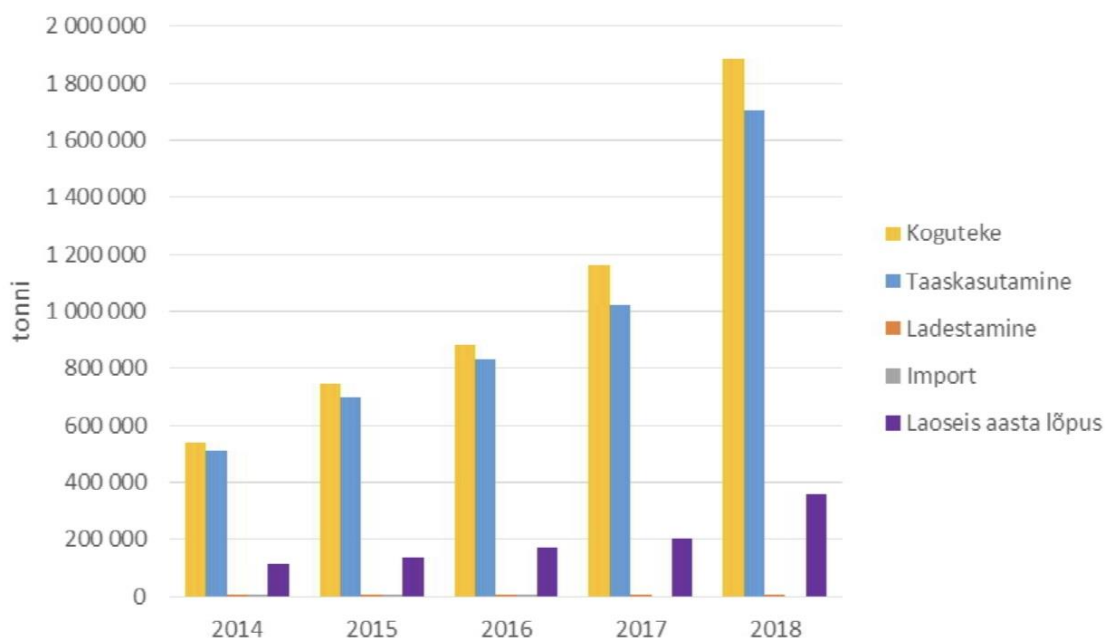
Keskonnaagentuuri raporti „Jäätmekäitluse trendid 2014-2018“ andmetel tõusis 2014-2018 Eesti ehitus- ja lammutusjäätmete maht rohkem kui kaks korda – 1,5 miljoni tonni pealt 3,2 miljoni tonnile. Raporti sõnul on see tingitud hoogsast majanduskasvust, mille tulemusena hoogustus ka ehitustegevus. Ehitus- ja lammutusjäätmete hulk võib raporti sõnul olla veelgi suurem kui on ametlikult registreeritud, kuna ehitusjäätmete turul tegutsevad aruandluskohustusest kõrvale hiilivad ehitusfirmad ja jäätmekäitlejad. [21] Ehitus- ja lammutusjäätmete tekkest annab ülevaate Keskonnaagentuuri graafik (Joonis 1.1).



Joonis 1.1 Ehitus- ja lammutusjäätmete ülevaade. [21]

### 1.3.1 Pinnasejätmete teke ja taaskasutus Eestis.

Pinnas, kivid ja süvenduspinnas moodustavad suurima ehitusjätmete grupi, mis on 62% 2018. aastal Eestis tekkinud jäätmetest. Keskkonnaagentuuri raporti „Jäätmekäitluse trendid 2014-2018“ andmetel võib see olla tingitud viimastel aastatel toimuvast suuremahulisest ehitustegevusest, eriti seoses uusarendustega. 2018. aastal tekkis ehitustegevuse tagajärjel kokku 1,9 miljonit tonni ehitusjätmeid, millest taaskasutati umbes 1,7 miljonit. 2014-2018 aastatel tekkinud pinnase, kivide ja süvenduspinnase andmeid on näha jooniselt 1.2. Andmetest selgub, et kogutekke ja taaskasutuse protsentuaalne maht on nende aastate jooksul järjepidevalt umbes sama olnud, kuid summaarselt on koguteke ja taaskasutamine ligikaudu kolmekordistunud. [21]



Joonis 1.2 Pinnase, kivide ja süvenduspinnase teke ja käitlus 2014-2018. [21]



### 1.3.2 Betoonijäätmete teke ja taaskasutus Eestis.

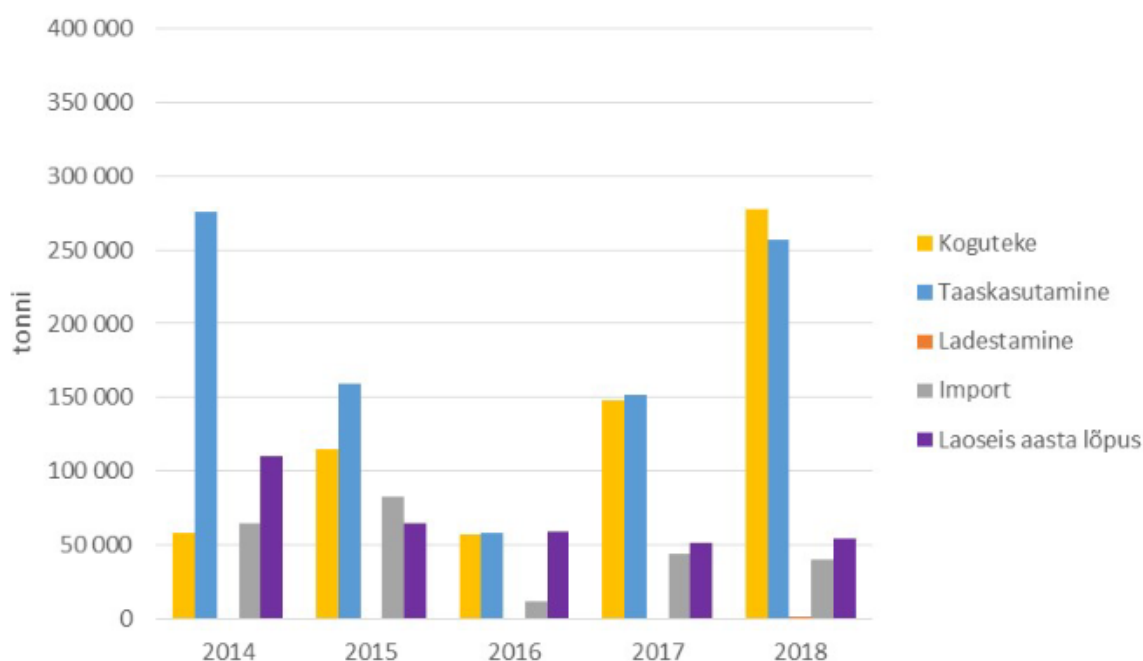
Mahu poolest teine suurim ehitus- ja lammutusjäätmete liik on betooni-, tellise- ja plaadijäätmed, mis moodustavad kogu jäätmehulgast ligikaudu 14%. Keskkonnaagentuuri raporti põhjal tekkis 2018. aastal 574 000 tonni jäätmeid, millest taaskasutati 500000 tonni. Betoonijäätmed taaskasutati peamiselt killustikuks purustamise ja tagasitäite teel. [21] Aastate 2014-2018 jäätmete tekke andmeid on võimalik lugeda jooniselt 1.3.



Joonis 1.3 Betooni, telliste, plaatide ja keraamikatoodete teke ja käitlus 2014-2018. [21]

### 1.3.3 Bituumenjätmete teke ja taaskasutus Eestis.

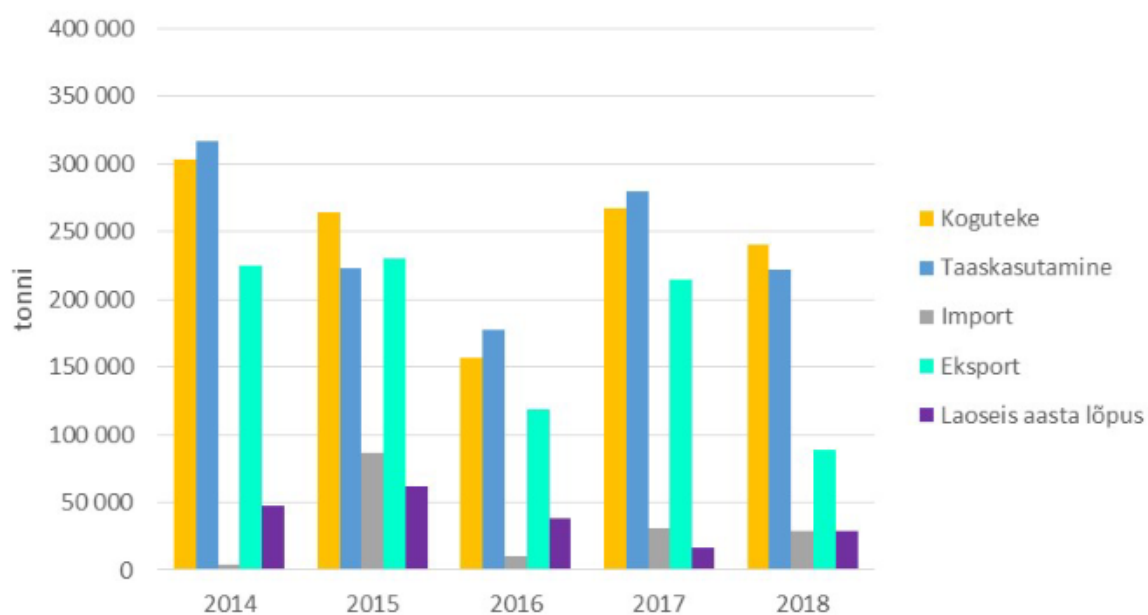
Kolmas suurim jäätmeliik mahu poolest on bituumenitaolised tooted, mis moodustab kogu jäätmete mahust umbes 9%. Keskkonnaagentuuri uuringu põhjal tekkis aastal 2018 umbes 275000 tonni bituumenitaolisi jäätmeid, millest taaskasutati umbes 260000 tonni. 2018. aastal tekkis ligikaudu 66% kõikidest jäätmetest ehk 190000 tonni jäätmeid teedeehituses üles võetud asfaltist Lääne-Virumaal. Üles võetud asfalt taaskasutati teedeehituses. 2018. aasta kogutekke suurus oli pigem erand, Keskkonnaagentuuri raport toob välja, et tegelikult on ülejäänud aastatel ületanud taaskasutuse maht jäätmete tekke mahtu, kuna iga-aastaselt on kasutusse võetud varasemalt ladustatud kogused. [21] Kogu 2014-2018 bituumenitaoliste segude ning kivisöe- või põlevkivitörva ja tõrvasaaduste mahu teket ja nende käitlust on võimalik näha jooniselt 1.4.



Joonis 1.4 Bituumenitaoliste segude ning kivisöe- või põlevkivitörva ja tõrvasaaduste teke ja käitlus 2014-2018. [21]

### 1.3.4 Metallijäätmete teke ja taaskasutus Eestis.

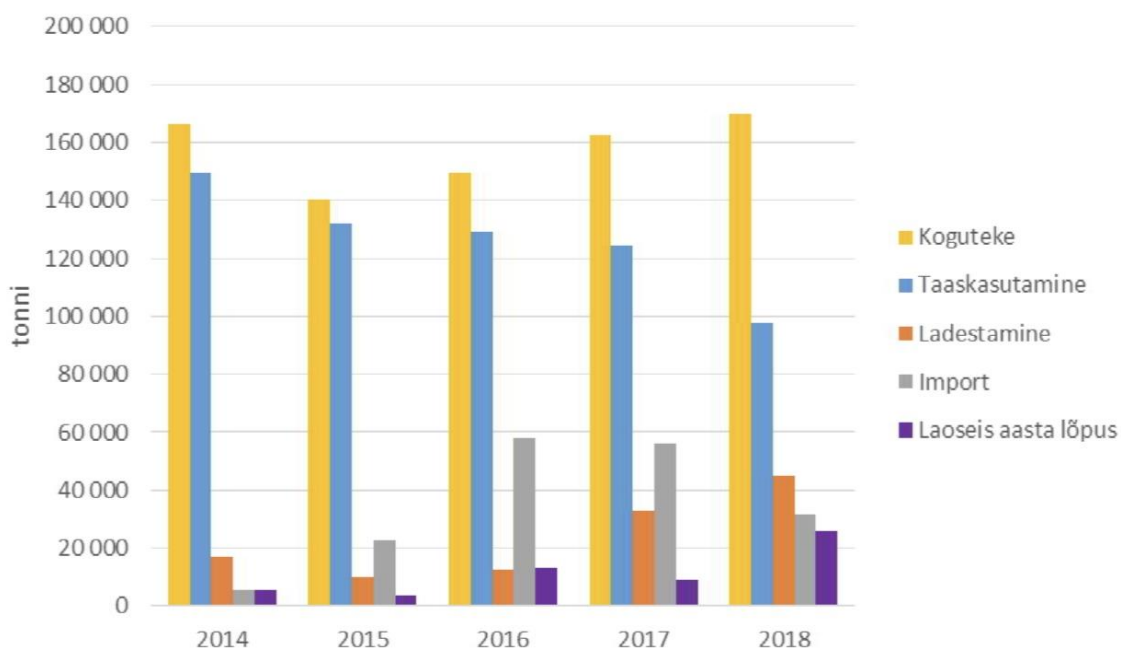
Neljanda põhilise ehitus- ja lammutusjäätmete mahu moodustavad metallijäätmed – iga-aastaselt umbes 8% kõikidest jäätmetest. Aastal 2018 tekkis umbes 240000 tonni jäätmeid, millest taaskasutati 225000 tonni. Metallijäätmed saadetakse taaskasutusse peamiselt naaberriikidesse, kus need suunatakse ümbersulatusse. Metallijäätmeid tekib Eestis ehitus- ja lammutustegevuse käigus alla tonni aastas, enamuse jäätmete mahust tekib metallide ekspordi tõttu Lätist ja Leedust. [21] 2014-2018 metallijäätmete teket ja käitlust on näha jooniselt 1.5.



Joonis 1.5 Metallide teke ja käitlus 2014-2018. [21]

### 1.3.5 Muu ehitus- ja lammutuspraht.

Lisaks ehituses tekkinud pinnase-, betooni-, bituumen-, ja metallijäätmetele tekib iga-aastaselt ka muud ehitus- ja lammutusprahti. Muud ehitus- ja lammutusprahti tekib Keskkonnaagentuuri raporti põhjal umbes 7% kogumahust. Muud jäätmed on põhiliselt puidujäätmed, ohtlikku asbesti sisaldavad ehitusmaterjalid, klaas, kips ja kõik muud jäätmed, mis ehituse ja lammutamise käigus tekivad. 2018. aastal tekkis muud ehitus- ja lammutusjäätmeid kokku ligikaudu 170000 tonni, millest taaskasutati 100000 tonni ning ladustati 40000 tonni. Puidujäätmeid taaskasutatakse põletamisel ning asbesti sisaldavad materjalid ladustatakse. [21] Jooniselt 1.6 on näha, et ladustamise osakaal on kõvasti suurenenud, taaskasutuse määr langenud ning koguteke on tõusnud. Keskkonnaagentuuri raport ei täpsustanud, millest selline muutus tingitud on.



Joonis 1.6 Muu ehitus- ja lammutusprahti teke ja käitlus 2014-2018. [21]

## **2. EHITUSMATERJALIDE TAASKASUTUS**

Materjalide taaskasutus on inimkonna meelel olnud juba sajandeid, kuid ettekäänded selleks on olnud erinevad. Üks põhjus taaskasutamiseks on tingitud ressursside nappusest. 1776 rebisid patrioodid Ameerika iseseisvussõja ajal King George III kuju pukilt maha ning tootsid kujult saadud rauast ligikaudu 42000 kuuli, mis aitas oluliselt kaasa iseseisvuse saavutamisele. Selline taaskasutamine oli tingitud rauamaagi puudujäägist. [22] Tänapäeval on lisaks ressursside nappusele fookuses ka jätkusuutlik eluviis ning ühiskonna areng loodust kahjustamata.

Jätkusuutliku ja loodust säästva eluviisi tagamisel on üks nurgakividest ehitusmaterjalide taaskasutus nende planeeritava eluea lõpufaasis. Euroopa Liidu parlament ja nõukogu on loonud direktiivi, mis sätestab meetmed keskkonna ja inimeste kaitsmiseks läbi erinevate taaskasutusprintsiipide [23]. Alljärgnevalt on välja toodud mõningad pingutused, mida tehakse taaskasutamise propageerimisel. Lähiaja tähtsamad taaskasutamist soosivad ettepanekud on ringmajandus ning EL direktiivi lisatud ning taaskasutusele väga olulist ideoloogiat seadistav artikkel 4 ehk Euroopa jäätmehierarhia.

### **2.1 Ringmajandus.**

Ehitussektoril on enamikes globaalsetes uuringutes võtmevaldkonna roll nii majandustulemuste mõiste ja keskkonnahoiu seisukohast [24]. „Ringmajandus on tootmis- ja tarbimismudel, mille puhul olemasolevaid materjale ja tooteid jagatakse, laenatakse, korduskasutatakse, parandatakse, uuendatakse ja võetakse ringlusse võimalikult kaua. Sellega pikendatakse toodete olemusringi.“ [25] Siiani on olnud levinud majandusmudel lineaarne, mis tähendab, et toodetud ese või asi tarbitakse ära ning ülejäänud teisaldatakse prügilatesse. Sellises majandusmudelis tegutsevad firmad valmistavad teadlikult lühikese kasutuseaga tooteid, soosides tarbimiskultuuri kasvu. Uus tarbimismudel peaks keskenduma rohkem lisaväärtuse loomisele, kõik loodusest võetud toorained peavad jääma majandusse ringlema nii kauaks kui võimalik. Ringmajandusmudeli pikaajaline eesmärk on vähendada survet keskkonnale, parendada toorainetega varustamise kindlust ning suurendada konkurentsivõimet. Ühtlasi soodustab ringmajandus innovatsiooni, hoogustab majanduskasvu (0,5% SKP-st) ja aitab luua töökohti (2030. aastaks lisanduks ainuüksi Euroopa Liidus 700 000 töökohta). [25]

Ringmajanduse arendamine on Eestis jõudnud etappi, kus 2022. a algusesse seati eesmärk töötada välja, Keskkonnaministeeriumi eestvedamisel, ringmajanduse arengudokument ja tegevuskava. Selle suuna väljatöötamisel plaanitakse protsessi kaasata mitmeid huvigruppe ning rakendada teiste riikide ekspertide teadmisi. [20]

Üleminekul ringmajandusele on vaja reforme toodete väärtusahelas – muutusi vajavad peamiselt toodete disainid, tööpõhimõtted – lisaks sellele ka ärimudelid ja lõpptarbivate harjumused. Uute ja olemasolevate toodete puhul peab olema peamine fookus olelusringi loomine, kus valitakse kvaliteetsed, jätkusuutlikud materjalid ning sisestatakse need tarneahelasse, mis on optimeeritud korduskasutusele. Ringmajandus saavutab täieliku potentsiaali, kui tarbijad ning tootjad mõtleavad süsteemselt ning on nõus muutma kogu sotsiaal-majanduslikku süsteemi. Suur rõhk on pandud ettevõtete omavahelisele koostööle ning rahvusvahelistele kokkulepetele. Toimiva ringmajanduse lõppeesmärk on saavutada kinnine tootmistsükkel, kus ühe ettevõtte jäätmed on tooraine mõne teise ettevõtte jaoks. [20]

Ringmajanduse rakendamisel ehitusvaldkonnas on vaja arvestada alljärgnevaga [24]:

- 1) ideaalolukorras tuleb olemasolev hoone säilitada ning hoone renoveerida või rekonstrueerida;
- 2) jätkusuutlik tarneahela koostöövõime ja hoone planeerimine, millest sõltub hinnanguliselt 80% ehitise keskkonnamõjust;
- 3) kvaliteetne materjalivalik ja jäätmetekke vältimine läbi parema planeerimise ja disainiotsuseid;
- 4) hoone eluea lõpus on see võimalik üksikelementideks lahti võtta.

Keskkonnaministeeriumi korraldatud uuringus tuuakse välja, et hoone kuulumist ringmajandussüsteemi oleks võimalik dokumenteerida läbi materjalipassi. Pass võimaldaks kontrollida ja jälgida ehitise eluea jooksul tehtud parandusi, kohandamisi ning hooldusi ja tagada hoone eluea lõpus ringmajanduse põhimõtteid järgides hoone koost lahti võtmise. [24] Materjalipasside abil oleks võimalik kasutada vanu lammutatavaid hooneid materjalipankade loomiseks või olemasolevate materjalipankade täitmiseks. Siseriikliku materjalipassi välja töötamise vajalikkust on kõigis Euroopa riikides tunnustatud ning on osa ringmajanduse tegevusplaanidest [24].

Lisaks materjalipassidele on oluline luua ühene süsteem või standard, millega on võimalik määrata lammutatavast hoonest kätte saadud ehitismaterjalide kvaliteeti. Sellise süsteemi olulisust on teadvustatud ning selle välja töötamisega tegelevad mitmed Euroopa riigid. [24]

## 2.2 Euroopa jäätmehierarhia.

Euroopa Liit jaotab kogu jäätmekäsitluse tähtsuse järgi viieks põhiliseks viisiks, kus nimekirja tipus on eelistatuim variant ning allapoole liikudes muutvad variandid vähem eelistatumaks, kusjuures viimast varianti peaks pigem vältima. Jäätmekäsitluse variandid tähtsuse järjekorras on [23]:

- 1) jäätmete tekke ennetamine;
- 2) jäätmete korduskasutamine;
- 3) jäätmete taaskasutamine;
- 4) muu taaskasutamine;
- 5) jäätmete teisaldamine prügilasse.

Ringlussevõtu vaatevinklist on peamine fookus kahel viisil: jäätmete korduskasutamine ning jäätmete taaskasutamine ehk jäätmehierarhial astmed 2 ja 3.

Eelistatuim variant ehk korduskasutamine näeb ette mingite lammutusest edukalt kätte saadud elementide uuesti kasutamist mingi teise hoone ehitamisel ehk selektiivset lammutamist. See variant on soovituslik, kuna see kuulub mittepurustava meetme alla. Loodussäästlikkuse vaatevinklist on see otstarbekam variant, kuna toimub võimalikult vähe ümbertöötlemist, rõhk on elemendi korduskasutamisel ümbertöötlemata.

Vähem eelistatud variant ehk jäätmete taaskasutamine võib olla näiteks materjalide purustamine ning nende kasutamine täitena teedehituses või uue betooni valmistamisel. Need variandid on vähem eelistatud, kuna need kuuluvad purustava meetme alla ja nõuavad palju energiakulu ümbertöötlemiseks. Sellegipoolest on see variant jäätmehierarhias kõrgemal kohal, kui lihtsalt prügilasse teisaldamine.

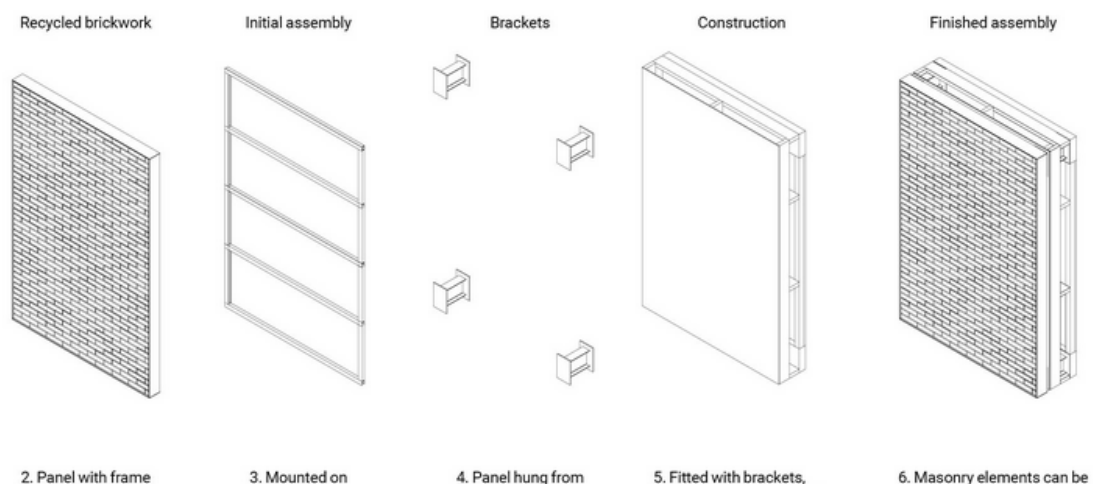
Vähim eelistatud, kuid enimlevinud, variant on hoone täielik lammutus. Lammutamise tavapraktika tulemusena muutuvad kõik ehitusmaterjalid ja toodet lammutusjääkideks ning need teisaldatakse jäätmekäsitluskeskustesse.

## 2.3 Variant 1: selekteeriv demontaaž.

Kui arvata välja üleüldine jäätmete tekke ennetamine, siis kõige loodussäästlikum materjalide taaskasutusviis on selekteeriv lammutamine. Selekteeriv demontaaž või lammutamine on hoone ettevaatlik lahti võtmine, mille käigus sorteeritakse, ideaaltingimustes, välja kõik kvaliteetsed materjalid ja konstruktiivsed elemendid [26].

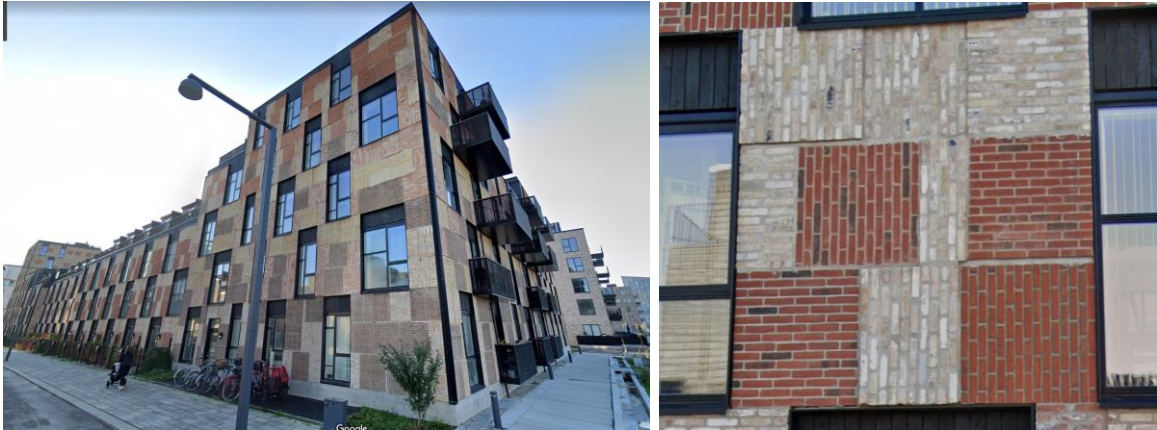
Näiteid selekteriva lammutamise kohta ei ole maailmas veel väga palju, kuna tehnoloogia on alles eksperimentaalne ning puuduvad selleks vajalikud standardid. Selekteeriva lammutamise levikut piirab ka asjaolu, et lisaks puudulikule tehnoloogiale tänapäeval, puudusid hoonete ehitamise ajal tehnoloogiad, mis oleksid võimaldanud ehitada need hooned selliselt, et need 50 aastat hiljem „lahti käiks“. Probleemne asjaolu on veel see, et 50 aastat vanad elemendid on hoone siseselt ja erinevate hoonete juures väga erineva kvaliteediga. Lisaks eelmainitule ei ole selekteriva demontaaži jaoks ka majanduslikku motivatsiooni – turumajanduses dikteerib tehnoloogia või meetodi üldjuhul majanduslik kasum. Sellegipoolest ei saa väita, et seda varianti ei ole kaalutud ega proovitud.

Üks näide selekteriva lammutamise kohta pärineb Taanist. Ehitusprojekti „The Resource Rows“ insenerid on planeerinud kasutada uue hoone rajamisel ajaloolise Carlsberg-i pruulikoja ning erinevate tööstus- ja koolihoonete tellisvoodri demonteeritud lõike fassaadi ehitamiseks. Tellisvoodri moodulid, suurusega 3m<sup>2</sup>, lõigati doonorhoonest välja (joonis 2.1) ning transporditi terves tükis uue rajatise ehitusobjektile, kus need demonteeritud elemendid paigaldati (joonis 2.2). Arhitektide ja inseneride sõnul on terve tellisvoodri kasutus tingitud asjaolust, et telliseid ning neid siduvat mörti eraldada on sisuliselt võimatu. [27] Tellisvoodri lõikude kasutamine võimaldas, arhitekti sõnul, kokku hoida ligikaudu 0,5kg CO<sup>2</sup> teket iga tellise kohta, ehk kogu tellisvoodri mooduli kohta 90kg CO<sup>2</sup> [27]. Lisaks sellele kasutati vanade lammutatavate hoonete tellisfassaad otstarbekalt ära, andes neile uus kasutusvõimaluse.



Joonis 2.1 Uue hoone fassaadi rajamiseks kasutatud tellisvoodri moodul. [27]





Joonis 2.2 Väljavõte Google Maps tänavavaatest (oktoober 2020). [28]

Lisaks Taanile on teostatud selekteriva lammutamise pilootprojekt ka Eestis. Projekti eesmärk oli ühe hoone täiemahuline demontaaž Räbi külas ning selle kokkupanek 200 kilomeetrit kaugemal asuvas Vabaõhumuuseumis. Erakordse pilootprojekti objekt oli ENSV aegne silikaattellistest kolhoosimaja, mis oli ehitatud vahemikus 1963-1964 tüüpprojekt nr 61 järgi. [29]

ENSV aegse hoone lammutusel eemaldati esimese sammuna kõik avatäited ning muud hoone küljes olevad dekoratiivsed elemendid, seejärel jagati hoone sise- ja välisvoodrid korruste kaupa elementideks, mis tõsteti õiges järjekorras raketistele (joonis 2.3). Tervet hoonet siiski ei jagatud elementideks, pööningu otsaseinad, trepikoja otsaseinad ja mõningad siseseinad transporditi Vabaõhumuuseumisse lammutatud kujul ning kohapeal ehitati need uuesti ülesse. Sise- ja välisvoodrite elementideks jagamise ajal lähtuti printsiibist sooritada minimaalne arv lõikeid ja tõsteid. PERI Grupi VARIO GT 24 tala-seinaraketise süsteem oli projektis kasutatud tõsteraketis koos erinevate mõõtudega osakilpidega. [30]



Joonis 2.3 Räbi külas asunud kolhoosimaja demonteerimine. [29]

### **2.3.1 Hoone konserveerimine.**

Selektiivse lammutamise juures on olulise tähtsusega hoone säilitamine demonteerimistöde alguseni. Tallinna Tehnikaülikooli välja töötatud raportis Majandus- ja kommunikatsiooniministeriumile käsitletakse hoone konserveerimise tähtsust [31].

Kui on otsustatud, et hoone lammutatakse selekteerivalt, siis soovivad raporti koostanud teadlased alustada hoone demonteerimistödega esimesel võimalusel, kuna ainult sellisel juhul saab vältida materjalide lagunemist, hävimist ja varastamist.

Teadlased märgivad, et samuti tuleb hoonet hakata viivitamatult konserveerima sellisel kujul nagu on hoone pärast elanike välja kolimist. Selleks tuleks kinni katta võimalikult paljud avatäited, et takistada kõrvalistel isikutel hoonesse sisenemine ning piirata ilmastiku mõjusid hoone tarinditele – tarindid säilitavad oma hea seisundi mitmeteks aastateks. Teadlaste sõnul on eriti kriitilise tähtsusega piirkond katus, mis tuleb veekindlalt kinni katta. Vee- ja niiskuskahjustused mõjuvad tarinditele negatiivselt, üldiselt vähendades nende kandevõimet.

Käesoleva magistr töö uuritava objekti ehk Keskpuiestee 43 hoone puhul ei olnud selline teguviis enam võimalik, kuna hoone oli seisnud kinni katmata avatäidetega liigselt kaua. Keskpuiestee 43 kortermaja puhul on eriliselt kriitilises seisus hoone kelder, kus toimub tarindite hallitamine ning amortiseerumine.

## **2.4 Variant 2: ehitusjätmete kasutamine uue betooni valmistamisel.**

Jäätmehierarhia olulisuselt kolmas taaskasutusviis on jätmete taaskasutamine uue toote loomiseks. Ehitussektoris on sellise taaskasutusviisi jaoks hea näide uue betooni valmistamine vanast betoonist toodetud killustikuga. Käesolev peatükk keskendub kahele Tallinna Tehnikaülikoolis läbi viidud uuringule, millede eesmärk oli välja selgitada, kas teatud ehitusjätmeid on võimalik kasutada uue betooni valmistamisel täiteainena.

## 2.4.1 Betoonijäätmetest toodetud killustiku kasutamine betooni täitematerjali asendajana.

Esimene uuring on koostatud Kristjan Langebrauni poolt magistritöö raames ning kannab nime „Betoonijäätmetest toodetud killustiku kasutusvõimalused betoonsegudes“. Langebrauni magistritöö eesmärk oli uurida betoonijäätmetest valmistatud täiteainete kasutusvõimalusi uues betoonsegus [32].

Langebraun keskendus oma magistritöös Karimek OÜ-st saadud betoonjäätmete omaduste määramisele ning uue betoonsegu valmistamisele ja sellega katsetamisele. Selleks eraldas ta betoonmaterjalist 0-4 ja 8-16 mm fraktsioonid ning võrdles taaskasutatava materjali omadusi loodusliku materjaliga, millel olid vastavalt samad fraktsioonid. Eesmärk oli leida taaskasutatud täiteaine ja loodusliku täiteaine erinevused, lisaks sellele välja selgitada taaskasutatud täiteaine sobilikkust uue betooni valmistamisel. Pärast fraktsioonide eraldamist valmistas Langebraun katsetatud materjalist betoonkatsekehad. Katsekehad olid erinevate täiteaine asendustega, need on esitatud tabelis 2.1. Valminud katsekehadega viis Langebraun läbi mitmeid erinevaid katseid, välja selgitamaks nende veesisaldust, tihedust ning survetugevust purustaval ja mittepurustaval viisil. [32]

Tabel 2.1 Betoonisegudes kasutatud asendused ja materjalide kogused kg [32]

Betoonisegu nimetus	Looduslik killustik	Taaskasutatud killustik	Looduslik liiv	Taaskasutatud liiv	Tsement	Vesi
0% asendusega	24.69	0	9.55	0	6.02	3.59
50% asendusega	12.34	12.34	9.55	0	6.02	3.59
20% asendusega	19.75	4.94	9.55	0	6.02	3.59
20/20% asendusega	19.75	4.94	7.64	1.91	6.02	3.59

Taaskasutatud ja loodusliku liiva võrdlusest selgus, et: „taaskasutatud liiva tihedus on madalam. Märkatavalt suurem on peenosise sisaldus, samas peensusmoodul on madalam. Järelikult on taaskasutatud liivas rohkem nii peeneid kui ka suuremaid osakesi. Huumuse sisaldus oli mõlemal juhul piisavalt madal, aga loodusliku liiva proovides oli lahus siiski heledam ehk seal on siiski huumust vähem“.[32]

Taaskasutatud ja loodusliku killustiku võrdlusest selgus, et: „Taaskasutatud killustiku tihedus on madalam kui looduslikul. Tühiklikkus ja plaatjate ning nõeljate terade sisaldus on suurem. Märkatavalt suurem on taaskasutatud killustiku veemavus, mis ei vasta ka vastavas standardis esitatud piirväärtusele. Täitematerjali suur veemavus

põhjustab probleeme külmakindlusega ning seetõttu on selle kasutamine betoonis raskendatud".[32]

Langebraun järeldas materjalide analüüsist, et Karimekist saadud betoonijäätmetega on võimalik toota maksimaalselt B-tüüpi täiteainet. A-tüüpi täiteaine tootmiseks ei vastanud materjal üheski kategoorias nõuetele, mis on seatud standardis EVS 206:2014. Langebrauni saadud tulemused tabelis 2.2 [32].

Tabel 2.2 Komponentide sisalduse võrdlus standardis EVS 206:2014 esitatud taaskasutatud jämetäitematerjalile esitatavate nõuetega [32]

Komponent	Saadud tulemus	Tüüp A	Tüüp B
Rc	67.87%	≥90%	≥50%
Rc+Ru	90.39%	≥95%	≥70%
Rb	5.34%	≤10%	≤30%
Ra	2.15%	≤1%	≤5%
X+Rg	1.65%	≤1%	≤2%
FL	2.08 cm <sup>3</sup> /kg	≤2 cm <sup>3</sup> /kg	≤2 cm <sup>3</sup> /kg

Taaskasutatud täiematerjalist valmistatud betoonist katsekehade tugevusnäitajad olid võrdlemisi väga head. Langebrauni katsetest selgus, taaskasutatud materjaliga katsekehad ei erinenud väga palju looduslike materjalidega katsekehadest. Tihedused olid mõlemal ilma suurte erinevusteta, veesisalduse ja väljakuivamise puhul ei esinenud erinevusi ning purustavad survetugevused olid väga head, kusjuures taaskasutatud materjaliga katsekehad olid märkimisväärselt vastupidavamad. Kõik tulemused on tabelis 2.3. [32]

Tabel 2.3 Katsekehade survetugevused purustaval meetodil [32]

Asenduse %	Kuup nr	Purustav jõud, kN	Survetugevus N/mm <sup>2</sup>	28 päevane survetugevus N/mm <sup>2</sup>	Keskmine	Purunemispilt
0%	1	914.8	40.66	40.66	40.50	Rahuldav
0%	2	975.3	43.35	43.35		Rahuldav
0%	3	852.4	37.88	37.88		Rahuldav
0%	4	902.9	40.13	40.13		Rahuldav
0%	5	806.1	35.83	35.83		Mitterahuldav
50%	6	1128.1	50.14	47.78	44.65	Rahuldav
50%	7	1053.5	46.82	44.62		Rahuldav
50%	8	1073.1	47.69	45.45		Rahuldav
50%	9	996.8	44.30	42.22		Rahuldav
50%	10	1019.1	45.29	43.16		Rahuldav
20/20%	11	1112.5	49.44	47.12	44.32	Rahuldav
20/20%	12	1008.3	44.81	42.71		Rahuldav
20/20%	13	1024.2	45.52	43.38		Rahuldav
20/20%	14	1059.1	47.07	44.86		Rahuldav
20/20%	15	1027.7	45.68	43.53		Rahuldav
20%	16	1086	48.27	46.00	45.68	Rahuldav
20%	17	1080.2	48.01	45.75		Rahuldav
20%	18	1051.9	46.75	44.55		Rahuldav
20%	19	1076.3	47.84	45.59		Rahuldav
20%	20	1097.7	48.79	46.49		Rahuldav

Langebrauni magistr töö tulemustest on näha, et taaskasutatud materjale on võimalik kasutada uue, piisava tugevusega, betooni valmistamiseks. Purustava survekatse tulemused näitavad, et taaskasutatud materjalist betoonkatsekehad on isegi tugevamad. Sellegipoolest peab arvestama, et materjal ei vasta kõikidele EVS-EN 206 esitatud nõuetele. Lisaks toob Langebraun oma magistr töö välja, et ei käsitletud betooni külmakindlust, mis võib häid tulemusi oluliselt mõjutada. Tema sõnul on lõplike järelduste jaoks vaja teha täiendavaid katseid, kuid taaskasutatud materjalide kasutamise potentsiaal on suur. [32]

## 2.4.2 Silikaatkivi killustiku kasutamine betooni täitematerjali asendajana.

Teine oluline Tallinna Tehnikaülikoolis teostatud uuring taaskasutuse vaatevinklist oli silikaatkivist toodetud killustiku kasutamine betooni täitematerjali asendajana. Keskpuiestee 43 objektilt võetud, mördiga kaetud silikaatkivid purustati Tallinna Tehnikaülikooli ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboris laboratoorses lõugpurustis mitme erineva fraktsiooniga killustikuks. Lõugpurustist saadud 4/16 mm ja 0/4 mm fraktsiooniga killustikku kasutati betooni täitematerjalina uues betoonis asendustega 25%, 50% ja 75% (Tabel 2.4). Uue betooni valmistamisel kasutati portlandtsementi CEM I 42,5R 320 kg/m<sup>3</sup>. [31]

Tabel 2.4 Valmistatud betoonide koostised [31]

Betooni tähis	Paekivikillustik 4/16	Liiv	Purustatud silikaatkivist killustik	
			Jäme 4/16	Peen 0/4
1. Etalon	100%	100%	-	-
2. Jäme 25%	75%	100%	25%	-
3. Jäme 50%	50%	100%	50%	-
4. Jäme 75%	25%	100%	75%	-
5. Jäme 25% + peen 25%	75%	75%	25%	25%
8. Jäme 50% + peen 50%	50%	50%	50%	50%
7. Jäme 75% + peen 75%	25%	25%	75%	75%

Värske betoonisegu omadused määrati EVS-EN 12350 alusel ja kivistatud betooni katsetati EVS-EN 12390 alusel. Värske betooni omadused on toodud tabelis 2.5 ning betoonide keskmised survetugevused on toodud tabelis 2.6.

Tabel 2.5 Värske betoonisegu omadused [31]

Betooni tähis	Vesi/tsement tegur	Värske betoonisegu		
		Tihedus kg/m <sup>3</sup>	Koonuse vajumine, cm	Õhusisaldus, %
1. Etalon	0,61	2440	4,0	2,0
2. Jäme 25%	0,63	2420	3,5	2,5
3. Jäme 550%	0,65	2360	3,5	2,8
4. Jäme 75%	0,66	2290	1,0*	3,3
5. Jäme 25% + peen 25%	0,65	2390	1,5*	2,4
8. Jäme 50% + peen 50%	0,69	2330	1,0*	2,7
7. Jäme 75% + peen 75%	0,81	2240	1,5*	3,3

Tabel 2.6 Betoonide 28 päevased survetugevused [31]

Betooni tähis	Survetugevus, N/mm <sup>2</sup>
1. Etalon	50,3
2. Jäme 25%	53,2
3. Jäme 50%	49,5
4. Jäme 75%	47,8
5. Jäme 25% + peen 25%	50,0
8. Jäme 50% + peen 50%	47,3
7. Jäme 75% + peen 75%	42,9

Leiti, et „Silikaattelistest purustatud killustiku kasutamine betooni täitematerjalina betooni õhusisaldust oluliselt ei mõjutanud. Betooni veevajadus suurenes lähtuvalt silikaatkillustiku suuremast veeimavusest (~10%) võrreldes paekivikillustiku veeimavusega (~2%). Betoonisegu tihedus vähenes silikaatkillustiku osakaalu suurenemisega betoonis seoses veehulga suurenemisega ja silikaatkillustiku väiksema puistetihedusega (~950 kg/m<sup>3</sup>) võrreldes paekivikillustiku puistetihedusega (~1380 kg/m<sup>3</sup>)“. [31]

Autori arvates on tehtud katse puhul kõige olulisem avastus, et silikaatkividest saadud killustiku kasutamine betooni täitematerjalina on võimalik, kuna see ei mõjutanud betooni tugevusnäitajaid. Katsete läbiviijad hoiatavad, et headele tulemustele vaatamata ei ole soovituslik asendada üle 50% täitematerjalist, kuna sellega kaasneb betoonisegu veevajaduse tõus ning betoonisegu jäigem struktuur. Eelnevalt mainitud omadused teevad uue betooni töötlemise ja valamise oluliselt raskemaks.

„Silikaatkillustikuga valmistatud betoonide esmastest katsetulemustest nähtub, et täitematerjalina osaliselt silikaatkillustikku kasutada on reaalne ja üheks väga perspektiivikaks võimaluseks silikaatkivide taaskasutamiseks.“ [31]

## 2.5 Variant 3: traditsiooniline lammutamine.

Euroopa jäätmehierarhia järgi on jäätmete teisaldamine prügilasse prioriteetide poolest viimasel kohal, sellist varianti peaks maksimaalselt vältima. Traditsioonilise lammutamise definitsioon on ehitusseadustikus määratletud kui ehitamist, mille käigus ehitus eemaldatakse või likvideeritakse osaliselt või täielikult [33]. Hoonete lammutustööde teostamisel on vähe valikuid – selektiivne demontaaž või traditsiooniline lammutamine. Valiku tegemisel on määrava kaaluga üldjuhul majanduslik aspekt – kõige odavam pakkumine on eelistatud [34]. Tänapäeval on üldlevinud tavaks teostada lammutamine traditsioonilisel viisil.

Programmi „Põhikoolivõrgu korrastamine perioodil 2014–2020“ raames lammutati endine koolimaja Valgas aadressil Kuperjanovi 99 [35]. Hoone lammutamist dokumenteeris Marko Unt oma magistritöös nimega „Lammutamisele kuuluva hoone betoonarhindade külmakindluse ja tugevuse uuring“. Marko Unti sõnul tingis lammutamise vajaduse aegunud arhitektuur ning hoone liigselt suur olemus arvestades hoone eesmärki ja Valga linna vajadusi. Lisaks sellele oleksid vajanud hoone küttesüsteemid kapitaalremonti. Otsustati, et hoone rekonstrueerimine ei ole otstarbekas, kuna Valga linna väikese suuruse tõttu ei leiaks selline hoone kasutust. [36] Hoone lammutamine oli ilmselt ka vajalik arendajate silmis, kuna ehitust on eelistatav alustada tühjast krundist, muidu peab arendaja lammutustööde ning jäätmete utiliseerimise maksumuse ise tasuma, see vähendab kasumit. Lammutustöid teostavad ettevõtte algne eesmärk oli Kuperjanovi 99 hoone puhul vähemalt vahelae õõnespaneelide demontaaž, kuid tegelikkuses see ei õnnestunud. Lammutustööd teostati roomikekskavaatoriga, millel olid selleks vastavad lisaseadmed [36]. Hoone purustati sisuliselt täies mahus ning kõik ehitusmaterjalid muutusid lammutuse käigus lammutusjääkideks, mis utiliseeriti lammutusfirmade poolt [36].

Kiviõlis asuv Keskpuiestee 43 uuritav hoone on osa Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi hankest. Tallinna Tehnikaülikooli kogenud teadlased, kes panustasid samuti selle raporti koostamisse, on teinud arvutused, mis käsitlevad Keskpuiestee 43 hoone lammutamisel tekkivate ehitus- ja lammutusjäätmete käitluse kulusid. Kõiki tekkivaid kulusid on näha tabelis 2.7

Tabel 2.7 Lammutamise käigus tekkinud ehitus- ja lammutusjäätmete käitluse kulud [31]

Jäätme- kood	Jäätmeliik	Hinnangu- line kogus	Üh.	Erikaal (kg/m <sup>3</sup> )	Kogus	Üh.	Jäätme vastuvõtu hind KM- ga, €/t	Jäätme vastuvõtu maksumus, €
17 01 01	Betoonitükid kuni 0,5m	650	m <sup>3</sup>	2300	1495	t	6	8970
17 01 01	Kivid - silikaatkivi	830	m <sup>3</sup>	1900	1577	t	6	9462
17 01 01	Kivid - tuhaplokid	150	m <sup>3</sup>	1250	188	t	6	1128
17 01 03	Plaadid ja keraamikatooted	2	m <sup>3</sup>	1000	2	t	32,4	65
17 02 01	Puit (eelsorteeritud, raskmetalle ja halogeenorgaanilisi ühendeid mitte sisaldav)	50	m <sup>3</sup>	500	25	t	0	0
17 02 04	Puit (ohtlike aineid sisaldav või nendega saastunud)	70	m <sup>3</sup>	500	35	t	82,2	2877
17 02 02	Klaas	2	m <sup>3</sup>	2600	5,2	t	66	343
17 02 03	Plastijäätmed	2	m <sup>3</sup>	1200	2,4	t	82,2	197
17 04 07	Metallisevad	2	t		2	t	0	0
17 01 01	Kivid ja pinnas – paekivi	150	m <sup>3</sup>	1800	270	t	6	1620
17 09 04	Täitešlakk ehk räbu	65	m <sup>3</sup>	1800	117	t	96	11232
17 06 01	Asbesti sisaldavad isolatsioonimaterjalid (torustiku isolatsioon)	8,9	m <sup>3</sup>	30	0,267	t	96	26
17 06 04	Isolatsioonimaterjalid (välisseina mineraalvatt jms)	27,1	m <sup>3</sup>	30	0,813	t	96	78
17 06 05	Eterniit või muu asbesti sisaldavad ehitusmaterjalid	5	m <sup>3</sup>	2050	10,25	t	82,2	843
17 09 04	Ehitus- ja lammutussegapraht	90	m <sup>3</sup>	1500	135	t	82,2	11097
<b>KOKKU:</b>								47938

Tabelist 2.7 on näha, et lammutamise kogumaksumus jäätmete utiliseerimiseks oleks kokku ligikaudu 47938€ ning sellele summale lisanduks veel ka transpordi kulu, mida teadlased arvesse ei võtnud.



Kui Keskpuiestee 43 hoonele teostada lammutustööd tavapraktika järgi, hävitatakse selle hoone õõnespaneelid, silikaattellised ja sillused – kõik on reaalsuses kasutatavad ehitustooted, millel on rahaline väärtus. Kui neid ehitustooteid oleks võimalik Euroopa direktiivi soovitude kohaselt korduskasutada, siis jääksid kulutused nende konkreetsete elementide utiliseerimiseks tegemata. Lisaks nende ehitustoodete edasimüügiga oleks võimalik lammutustöid teostavatel firmadel võimalus ka majanduslik kasum tekitada.

### **3. UURITAVA HOONE KIRJELDUS JA KATSELISTE UURINGUTE METOODIKA**

Käesoleva magistritöö eesmärk on kindlaks määrata lammutatava objekti tarindite kivimaterjalide ja betooni tugevusnäitajaid ning analüüsida nende tarindite taaskasutuspotentsiaali. Raudbetoonist katsekehad ja katsealused silikaattellised pärinesid Kiviõli korterelamust, mis oli määratud lammutamisele. Magistritöös kasutatud fotomaterjal on pildistatud autori ning töö juhendaja poolt, pildistati iPhone 11 Pro kaameraga.

Uuritavad tarindid/tooted olid:

- silikaattellised;
- monteeritavast raudbetoonist trepimade, mis koosnes ülemisest kergbetoonist ning alumisest normaalbetoonist;
- monteeritavast raudbetoonist õõnespaneelid.

Uuritavate elementide uuringuliigid on:

- visuaalne hindamine;
- karboniseerumise mõõtmine;
- mittepurustavad katsed;
- purustavad katsed.

#### **3.1 Pilootprojekti hoone.**

Magistritöös uuritav lammutusele määratud NSV Liidu aegne neljakorruseline silikaattellistest korterelamu (Joonis 3.1) asub aadressil Keskpuiestee 43, Kiviõli linn, Lüganuse vald, Ida-Virumaa. Ehitisregistri andmetel võeti hoone esmakordselt kasutusele aastal 1962.



Joonis 3.1 Ortofoto Keskpuiestee 43 [37] ja Keskpuiestee 43 hoone [31]

Tabel 3.1 Ehitisregistrist väljavõte ehitise Keskpuiestee 43 üldandmetest [38]

Ehitisregistri kood	102007811
Ehitise liik	Hoone
Ehitise nimetus	elamu 44krt.
Hoone peamine kasutamise otstarve	11222 Muu kolme või enama korteriga elamu
Ehitisealune pind (m <sup>2</sup> )	545
Suletud netopind (m <sup>2</sup> )	2023,5
Maapealsete korruste arv	4
Maa-aluste korruste arv	1
Pikkus (m)	50,1
Laius (m)	10,8
Kõrgus (m)	14,9
Üldkasutatav pindala (m <sup>2</sup> )	296,2
Maht (m <sup>3</sup> )	7702
Tüüpprojekt nr	1-317-10

Tabel 3.2 Ehitisregistrist väljavõte ehitise konstruktsioonidest ja materjalidest [38]

Vundamendi liik	Madalvundament
Kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjal	Tellis
Välisseina välisviimistluse materjal	Keraamiline tellis
Katuste ja katuselagede kandva osa materjal	Monteeritav raudbetoon
Vahelagede kandva osa materjal	Monteeritav raudbetoon
Katusekatte materjal	Plaatmaterjal (sealhulgas tsementkiudplaat)

Lisaks Ehitisregistris kajastatavale infole (tabelid 3.1 ja 3.2), selgusid hoone visuaalsel vaatlusel mõningate konstruktsioonide kohta olulised täpsustused. Korterite sised mittekandvad vaheseinad on ehitatud 80-100 mm paksustest gaasilikaatsiidist plokkidest. Lisaks on korterites sees kasutatud siseviimistlusena 10-15 mm paksust krohvi. Korterite vahele on nende eraldamiseks ehitatud 250 mm paksused silikaattellisseinad, kandvad seinad laotud kohati paksusega 250 mm ja 380 mm. Välisseinad on samuti ehitatud silikaattellistest, kogupaksusega 450 mm, millest sisemise osa moodustab 300 mm silikaattelliskivi, soojustus 20-30 mm mineraalvatt, välimine vooder 120 mm silikaatkivi (joonis 3.2).



Joonis 3.2 Foto välisseina demonteeritud avatäite kohast [31]

### 3.2 Visuaalne hindamine.

Uue hoone analüüsimine algab üldjuhul visuaalsest vaatlusest. Oluline on siinkohal märkida, et visuaalsest vaatlusest kujunenud hinnang ning määratud kvaliteet on subjektiivne, kuid siiski vajalik samm järgnevateks uuringuteks. Vaadeldakse mingi konkreetse ehitise konstruktiivseid tarindeid ning kontrollitakse, kas esineb amortiseerumist või mingeid muid hoone eluea jooksul tekkinud kriitilisi defekte. Üldjuhul analüüsitakse põhilisi kandekonstruktsioone – vundamenti, kandvaid seinu, nende toetavaid õõnespaneele ja samuti ka katusekonstruktsioone. Tavalise hoone puhul on kandvate konstruktsioonide säilimine äärmiselt oluline, elemendid peavad vastama ehitusnormidele ja standarditele – tagama kandepiiriseundi säilimise. Kitsaskohti ning subjektiivse arvamuse tekkimise valmistab asjaolu, et vaatluse ajal ei ole tihtipeale konstruktsioonid ega ehitussõlmed väga hästi nähtavad, liitekohad on viimistluse all, lähtutakse hea ehitustava võtete kasutusest, isegi kui see ei vasta reaalsusele [39].

Täna on Eestis üldlevinud mentaliteet, et lammutatav hoone kuulub täielikult purustamisele, seega ei ole hoone elementide säilimine oluline. Selline suhtumine on kõige otstarbekam lähenemine majanduslikult, kuid mitte loodussäästlikkuse mõistes. Lammutatava hoone taaskasutusel on suur potentsiaal, kuna olemasolevad elemendid on raudbetoonist valmistatud, mida saaks restaureerida ning uue ehitise rajamisel

kasutada. Lammutatava hoone elementide kvaliteedi hindamiseks visuaalsel viisil ei ole Eestis tänapäeval standardis välja toodud ühtset metoodikat, kuna kinnisvaraomanikel on erinevad vajadused ning nõudmised, mis tähendab, et standardiseerimine on üsna keerukas. Samuti sõltub visuaalsel hindamisel antud hinnang vaatleja kogemusest ja pädevusest, mis on kõikidel ekspertidel enamasti erinev. Rahvusvaheliselt on mitmete tööühmade (CEN/TC 348, CEN/TC 350, COST TU1402, COST TU1406 jt) raportites põhjalikult kirjeldatud erinevates riikides kasutatavaid ehitiste (sh. hooned, sillad jne) seisukorra hindamise süsteeme.

Keskpuiestee 43 lammutusele kuuluva objekti ehitustehnilise seisukorra hindamiseks otsustati aluseks võtta kaks metoodikat:

- 1) Tallinna Tehnikakõrgkooli (TTK) poolt Riigi Kinnisvara AS (RKAS 2018) tellimusel välja töötatud „Hoonete tehnilise seisukorra hindamise juhend“ (Versioon 1.0 (26.01.2018)). [40];
- 2) Eesti Põllumajanduse Akadeemia, tänapäeval Eesti Maaülikool, professor Tõnu Keskküla poolt välja töötatud ja professor Jaan Miljani poolt edasi arendatud „Välise vaatluse teel monteeritavate raudbetoonkonstruktsioonide hindamise metoodika“. [41]

### **3.2.1 Hoonete ehitustehnilise seisukorra hindamise metoodika.**

Visuaalne hindamine on metoodika, mis võimaldab anda teatud hinnangu eri tüüpi ja erineva funktsionaalsusega hoonete tehnilisele seisukorrale. Selle meetodiga saab hinnata eelkõige hoone tarindeid (sh siseviimistlus) ja selle külmumisastet. Muuhulgas võetakse hindamisel arvesse ka hoone puuduste korrigeerimise maksumuse suurusjärku, energiatõhusust ning sisekliimast tulenevat kasutusmugavust. Tehnilise seisukorra määramise põhietapid on [40]:

- 1) hoone kasutusotstarbe määramine;
- 2) hoone jaotamine üksikelementideks (EVS 807 alusel) [42];
- 3) tähtsusteguri määramine üksikelementidele;
- 4) seisunditeguri määramine üksikelementidele;
- 5) hoone seisundihinde arvutamine.

Alljärgnevalt on toodud seisunditeguri määramise tabel 3.3, mille abil igale üksikelemendile määratakse 4-pallisel skaalal seisunditegur  $S_i$ , kus 1 näitab elemendi täielikku korrasolekut ja 4 halvimat olukorda.

Tabel 3.3 Hoone üksikelemendi seisunditegur  $S_i$  [40].

Seisunditegur $S_i$	Seisunditeguri lühikirjeldus	Võimalik tegevus
1	Üksikelement on uus või uuevääriline; Üksikelement toimib ootuspäraselt, vigu ja defekte ei esine; Väljanägemine on korrektne ja puhas, kuid on lubatud minimaalselt kulumist (nt pleekimine); Vajalik märgistus ja dokumentatsioon on korrektsed.	Reguleerimine ja/või seadistamine ei ole vajalik.
2	Valdavas osas täidab üksikelement oma sihipärasest funktsiooni; Esineb üksikuid juhuslikke defekte või tavapärase kasutamisega seotud kulumist, mis terviküsteemi tööd ei mõjuta; Väljastus korrektne, kuid võib olla kulunud. Kahjustused ei mõjuta üksikelemendi kandevõimet, ohustust ega funktsionaalset toimivust	Reguleerimine ja/ või seadistamine võib olla vajalik Üksikelement võib vajada puhastamist või väljanägemisega seotud parendustöid.
3	Esineb korduvaid häireid töös ja/või funktsionaalsuses; Reaalne pidev oht lõplikuks hävimiseks; Oskuslikul kasutamisel ja hooldamisel on üksikelement mõnda aega veel kasutatav; Üksikelemendi kasutamine tervikuna ei ole ohtlik.	Üksikelemendi asendamine või põhjalik remont; Täiendava auditi läbiviimise vajadus on väga tõenäoline; Võib esineda vajadus potentsiaalselt ohtliku piirkonna markeerimiseks (nt ohutuslindid).
4	Üksikelement ei suuda täita oma funktsiooni, on täielikult amortiseerunud või hävinenud või on ohtlik; Vajalik (kohustuslik) üksikelement puudub.	Üksikelement vajab kohest asendamist või paigaldamist (kui on puudu); Hoone kasutamise osas on vaja rakendada piiranguid ning piirata ligipääsu; Vajalik läbi viia täiendav audit.

Raudbetoonkonstruktsioonide visuaalse hindamise aluseks võeti endise Eesti Põllumajanduse Akadeemia (EPA) ehitusmehaanika kateedris 1975.a. (Jaan Miljan, Tõnu Kesküla) välja töötatud meetodika [41]. Põhiliseks hindamise kriteeriumiks oli armatuuri korrodeerumisest tekkinud kahjustused.

Tabelis 3.4 toodud olukorra kirjeldused on algselt mõeldud raudbetoonalade olukorra hindamiseks, käesolevas uuringus kasutati seda Kiviõlis asuva Keskpuiestee 43 raudbetoonist aknasilluste hindamisel. Tabelis 3.5 välja toodud olukorra kirjeldused on

algsest välja töötatud raudbetoonist ribiplaatide olukorra hindamiseks, käesolevas uuringus kasutati seda Keskpuiestee 43 õõnespaneelide seisundi hindamisel. Taladele mõeldud olukorra kirjeldusi on kasutatud Keskpuiestee 43 akna- ja ustesilluste olukorra hindamisel [31]. Ribiplaatide olukorra kirjeldusi on kasutatud Keskpuiestee 43 õõnespaneelide olukorra hindamisel [31].

Tabel 3.4 Raudbetoonialade hinnetele vastavad olukorra kirjeldused [41]

Hinne	Olukorra kirjeldus
5	Talad terved, korrosiooni jälgi ei esine
4	Üksikutes kohtades märgata põikarmatuuri korrodeerumist (kaitsekihis praod, või kaitsekiht maha pudenenud)
3	Paljudes kohtades märgata põikarmatuuri korrodeerumist
2	Peaarmatuuri kaitsekihis mikro-põikipraad
1	Peaarmatuuri korrosiooni tagajärjel märgatav pikipragu kaitsekihis (laiusega ca 0.5... 1 mm)
0	1) peaarmatuuri kaitsekiht maha pudenenud 2) avariiolukord

Tabel 3.5 Raudbetoon-ribiplaatide hinnetele vastavad olukorra kirjeldused [41]

Hinne	Olukorra kirjeldus
5	Paneelid terved, korrosiooni jälgi ei esine
4	1) Mõnes üksikus kohas on plaadis pinnale väga lähedal asuv armatuur korrodeerunud 2) üksikutes kohtades põikiribis pikipraad
3	Paljudes kohtades märgata põikarmatuuri korrodeerumist
2	Peaarmatuuri kaitsekihis mikro-põikipraad
1	Peaarmatuuri korrosiooni tagajärjel märgatav pikipragu kaitsekihis (laiusega ca 0.5... 1 mm)
0	1) peaarmatuuri kaitsekiht maha pudenenud 2) avariiolukord

### 3.2.2 Betooni karboniseerumine.

Karboniseerumine on õhus leiduva süsihappegaasi reaktsioon betoonikivi aluseliste hüdroksiididega. Nagu paljud teised gaasid, lahustub süsihappegaas vees ja moodustab happe. Erinevalt teistest hapetest ei reageeri süsihape betoonikiviga, vaid neutraliseerib betooni poorides oleva vee. [43][31]

Betooni poorides on tunduvalt rohkem kaltsiumhüdroksiidi, kui seda on lahustunud poorides olevas vees. See tagab karboniseerumise algetapis, et betooni normaalne pH tase, s.o 12-13, säilib. Protsessi edenedes jääb kaltsiumhüdroksiidi järjest vähemaks ja pH tase hakkab vähenema. Karboniseerunud ja karboniseerumata betooni piiril toimub suur pH taseme muutus (11-13 langeb alla 8). Madala pH korral kaotab betoon aluselise keskkonna puudumise tõttu armatuurterast kaitsvad omadused. Kui karboniseerumise

front jõuab terasarmatuurini, siis toimub terase passiivse kaitsekihi purunemine ja roostetamise algus. [43][31]

Karboniseerumise määramiseks kasutatakse fenoolftaleiini (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) lahust, mida tuleb kanda värskelt avatud betooni pinnale. Leeliselises keskkonnas värvub fenoolftaleiin roosaks. Karboniseerunud betooni pH on neutraalne ja seal värvumist ei toimu. Tähelepanu tuleb juhtida ka asjaolule, et fenoolftaleiin muudab värvust pH taseme 9 juures. Terase passiivse kihi purunemine toimub pH 10...11 juures. Seega võib teras aktiveeruda, olles kuni 5 mm värvi muutumise piirist sügavamal. Suured täiteaine tükid häirivad fenoolftaleiini lugemite võtmist ja mõne tumeda betoonisegu taustal on värvide erinevust raske märgata. [43][31]

### **3.3 Katselised uuringud.**

Visuaalset hindamist võib lugeda sisuliselt eeluuringuks, tarinditele tehakse visuaalne vaatlus ning määratakse subjektiivne hinne. Pärast sellist eeluuringut on järgmine loomulik samm asuda tegema reaalseid katseid hoonest võetud elementidega, mis võimaldavad saada tegelikku tehnilist infot nende tarindite kohta. Kuna hoone on osa suuremast Tallinna Tehnikaülikooli uuringust Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumile, siis kajastatakse, lisaks autori katsetele ning tulemustele, mõningat teist hoone peal tehtud uuringut – selle eesmärk on tagada mahukas ülevaade hoone tehnilisest seisundist.

#### **3.3.1 Betoonkatsekehade puurimise meetodika.**

Raudbetoon katsekehade puurimine toimus I korruse trepimademelt, kokku puuriti 7 erinevat katsekeha. Puurimisel selgus, et trepimademe pealmine kiht oli kehvema kvaliteediga monoliitne betoon, alumine osa oli märgatavalt tugevam tehases toodetud betonelementtoode. Vastavalt standardile EVS-EN 12504-1:2019/AC:2020 [44] valiti puurimiseks sobilik asukoht, mis ei riku hoone olemasolevaid kandvaid konstruktsioone. Betoonkärnide puurimiseks kasutati tootja Hilti teemantpuurimiseadet DD 160, masin on 3 erineva käiguga ehk reguleeritava puurimiskiirusega, kaalub 16kg, ning vajab elektrivoolu 230 V, 2200 W. Puurimiskomplektis on võimalik läbimõõdu vahemik 25-202mm, Kiviõlis asuva Keskpuiestee 43 katsekehade puurimisel kasutati teras-



kõvasulamist puuri läbimõõduga 82 mm koos statiivi ja puurimiseks vajalike lisaseadmetega (puurimiskomplekt hangitud novembris 2020 ja hooldatud 2021 mais).

Puurimise alustamiseks oli vaja fikseerida teemantpuur Hilti komplektis oleva ankruga trepimademe külge. Ankruga trepimademesse kinnitamise jaoks puuriti kinnitusankru sügavusega auk, mis puhastati tolmust ning seejärel asetati auku ankur, mis omakorda fikseeriti viie tugeva vasaralöögiga. Ankruga korrapärane paigaldamine on puurimise edukuse puhul äärmiselt määrav tegur, kuna statiiv on ankruga külge kinnitatud keermetega ja jäigastusmutriga, millel on statiivi stabiliseeriv funktsioon – see omakorda tagab standardile vastava betoonkatsekeha puurimise. Eelviimane teemantpuuri töövalmiduse saavutamise samm oli ankruga ja statiivi ühildamine, selleks kasutati statiivi küljes olevat nelja reguleerimiskruvi, millede abil saadi statiiv tasapinnaga paralleelseks ehk loodi. Viimaks kinnitati puurimisseade ning alustati betoonkärnide välja puurimist (joonised 3.3 ja 3.4). Töö käigus oli oluline aspekt puurimist alustada alati kõige madalamast puurimiskiirusest ning aeglaselt kiirust juurde lisada, see väldib puurimisotsiku kiilumist ja sellega kaasnevat tööseisakuid. Lisaks sellele oli tähtis jälgida ka paraja veevoolu olemasolu puuritavasse piirkonda, see aitab vältida puuriotsiku ülekuumenemist ja sellega kaasnevat puuri kiilumist. Puurimise jaoks võeti kaasa 10 liitrit vett, kuna lammutataval hoonel oli veevarustus välja lülitatud. Elektrivool puurimiseks saadi bensiinigeneraatorist.



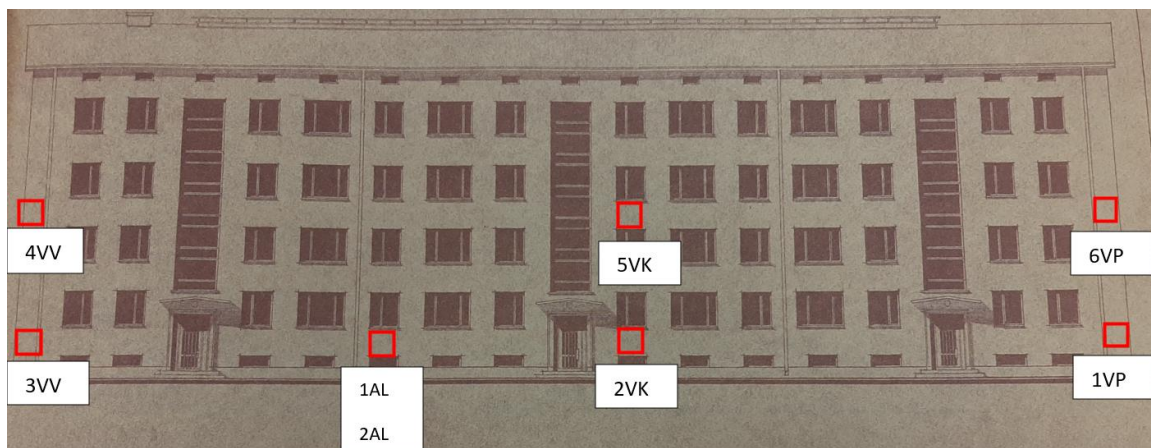
Joonis 3.3 Foto teemantpuurimise komplektist Hilti fikseeritud Keskpuiestee 43 (Kiviõli) trepimademe külge (vasakul); betoonkatsekehade (kärnide) puurimine (paremal) (Foto: M. Kiviste).



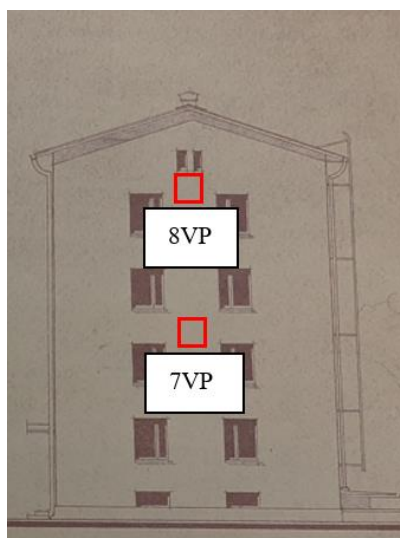
Joonis 3.4 Foto puuritud kärnidest ning nende asukohtadest.

### 3.3.2 Silikaattelliste proovikehade võtmine.

Lisaks katsetamisele betoonist puuritud kärnidega, teostati katseid ka Keskpuiestee 43 objektilt võetud silikaattellistega. Välisvoodri küljest eraldati silikaattellised tungraua ja piikvasara abil, nagu näha joonisel 3.7. Katsekehasid võeti kokku 16 tükki. Kivide väljavalimisel mängis rolli hoone fassaad – tellised võeti võimalikult erineva kliimakoormusega piirkondadest. Kivide võtmise asukoht on näidatud joonisel 3.5 ja joonisel 3.6. Kõik 16 tellist toodi TTÜ Tartu Kolledži laborisse katsetamiseks.



Joonis 3.5 Silikaattelliste proovikehade võtmise asukohad 1AL-6VP tähistatuna Keskpuiestee 43 fassaadi vaatel. [31]



Joonis 3.6 Silikaattelliste proovikehade võtmise asukohad 7VP ja 8VP tähistatuna Keskpuiestee 43 otsaseina vaatel. [31]



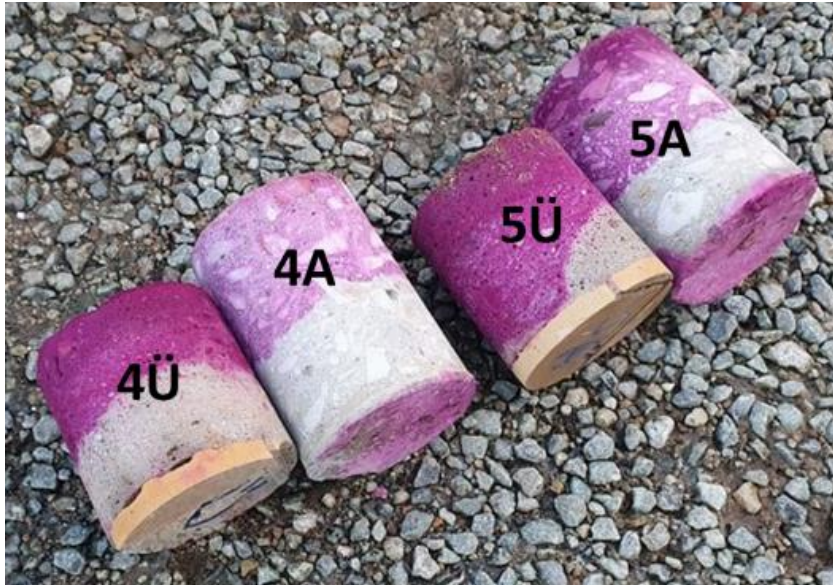
Joonis 3.7 Foto katsekehade võtmisest objektilt (08.11.2021). [31]

### 3.3.3 Karboniseerumise sügavus.

Betooni karboniseerumise määramine teostati Keskpuiestee 43 objektil võttes aluseks standard EVS-EN 14630:2006. Karboniseerumist mõõdeti vahetult pärast betoonkärnide välja puurimist, kandes fenoolftaleiini lahust pipeti abil vabastatud betooni pinnale. Kärnide välja puurimise järgselt ei olnud palju aega, kuna karboniseerumise protsess jätkub lahtisel betoonipinnal edasi ning tulemused võivad muutuda halvasti loetavaks. Aluselisele keskkonnale peale kandes värvub fenoolftaleiin roosaks ning karboniseerunud keskkonnas jääb betoonipind värvituks. Karboniseerumissügavuse määramisel mõõdeti roosat piirkonda joonlauaga kümnest kohast ümber betoonkäрни. Joonlauaga mõõtmisel välditi suuri täiteaine tükke ja veenduti, et kõik mõõdud on võetud täiteaine kõrvalt vabastatud betoonpinnalt.



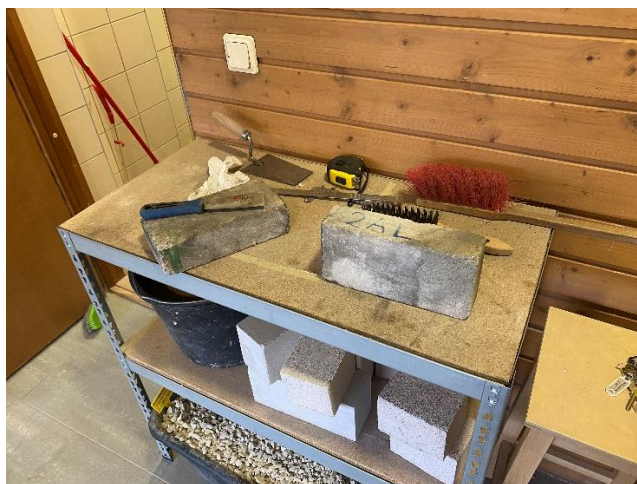
Selle tõttu, et trepimade koosnes kahest betoonikihist ehk täitebetoonist ja tehases toodetud elemendist, siis eristati puuritud katsekehad kaheks liigiks: trepimademe ülemine betoon ja trepimademe alumine betoon. Trepimademe ülemine betoon on tähistatud vastavalt 1Ü kuni 5Ü ning trepimademe alumisest kihist õnnestuti saada ainult kaks katsekeha – tähistatud vastavalt 4A ja 5A (Joonis 3.8).



Joonis 3.8 Foto fenooltaleiiniga kaetud katsekehadedest (4Ü, 4A, 5Ü, 5A) karboniseerumissügavuse mõõtmiseks (Foto: M. Kiviste).

### **3.3.4 Tiheduse määramine.**

Enne purustavate katsete alustamist oli vaja määrata Keskpuiestee 43 objektilt kaasa võetud katsekehade tihedus. Esimene samm oli katsekehade ettevalmistus, selleks puhastati katsekehad tolmust ning muust mustusest raudharjaga (joonis 3.9). Seejärel hakati valmistama kiirelt kivistuvat tsementsegu, et tagada betoonkärnide otsapindade siledus ja tasaparalleelsus hilisema purustava katse ajal. Silikaattellistele seda sammu ei tehtud, kuna tellised olid juba tasaparalleelsed. Tsementsegu valati vähesel määral klaaspinnale, seejärel asetati betoonkatsekeha segu sisse. Kui tsementsegu oli kivistunud, eemaldati katsekeha klaaspinna küljest ning kõrvaldati üleliigne kivistunud segu katsekehalt. Vaatamata sellele, et tasanduskihi olemasolu on oluline alles survekatse ajal, oli seda kihti vaja ka tiheduse määramiseks, kuna tasanduskiht lisab katsekehale massi ning tihedus suureneb.



Joonis 3.9 Foto silikaattelliste ettevalmistamisest tiheduse määramiseks

Betooni tiheduse määramisel oli aluseks standard EVS-EN 12390-7:2019 [45]. Tihedus arvutati valemiga:

$$D = \frac{m}{v}$$

Kus,

D on tihedus, mis põhineb katsekeha olekul ja mahu määramise meetodil, kg/m<sup>3</sup>;

m on katsekeha mass katsetamisaegses olekus;

v on antud katsemeetodil määratud katsekeha ruumala, m<sup>3</sup>.

Tihedus näidati 1,0 kg/m<sup>3</sup> täpsusega.

Tiheduse määramisel fikseeriti esmalt katsekehade mass, seda tehti kaaluga, Kern EW6200-2NM, mille maksimaalne kaalumiskapasiteet on 6200g, minimaalne raskus 1g ning täpsus 0,1g (joonis 3.10).



Joonis 3.10 Foto katsekeha 1VP kaalumisest

Seejärel mõõdeti betoonkärnide diameeter ning kõrgus nihkkaliibriga kolmest kohast. Mõõtmistulemustega arvutati katsekehade ruumala. Silikaattelliste puhul mõõdeti tellise pikkus, laius ning kõrgus nihkkaliibriga, teostati iga parameetri jaoks 3 mõõtmist ning arvutati nende aritmeetiline keskmine. Peale massi ja ruumala leidmist arvutati iga katsekeha tihedus.

### 3.3.5 Betooni ja silikaattellise purustav survetugevus.

Betoonid liigitatakse survetugevuse alusel erinevatesse klassidesse. Betooni klassi määramise aluseks kasutatakse enamasti betooni normtugevust, mis on 95% tõenäosusega tagatud tugevus. Normtugevus määratakse standartsete kuubikuliste katsekehade katsetamise teel, kuubiku laius on 150 mm ning tugevuse määramisel on aluseks 28-päevane normsurvetugevus. [46] Betooni tugevusklassi valiku määrab konstruktsiooni nõutav kandevõime, valmistamise tehnoloogia ja kasutusaegne keskkonnatingimus. Betooni minimaalne tugevusklass pingebetoonkonstruktsioonides peab olema vähemalt C25/35 ja monteeritavates konstruktsioonides C30/37. [46] Betooni survetugevusklassid on esitatud tabelis 3.6, vastavalt standardile EVS-EN 206 [47].

Tabel 3.6 Betooni survetugevusklassid [47]

Survetugevusklass (Tähis C)	Silindrite min. normtugevus (N/mm <sup>2</sup> )
C 8/10	8
C 12/15	12
C 16/20	16
C 20/25	20
C 25/30	25
C 30/37	30
C 35/45	35
C 40/50	40
C 45/55	45
C 50/60	50
C 55/67	55
C 60/75	60
C 70/85	70
C 80/95	80
C 90/105	90
C 100/115	100

Silikaattellis on tule- ja ilmastikukindel ehitusmaterjal, mis on lisaks ka heliisoleeriv. Tellised on valmistatud lubjast ja kvartslüüvast, mis on kokku kivistatud kõrge rõhu all olevas aurukeskkonnas. AS Silikaat koostatud juhendis on toodud välja, et telliste vastupanu peaks olema vähemalt 25N/mm<sup>2</sup>, mis vastab ligikaudu survetugevuse margile M250 ja survetugevusklassile 25 [48]. Standardis EVS-EN 771-2 on välja toodud

enamlevinud survetugevuse klassid ning nendele vastavad survetugevused, tabel 3.7 [49].

Tabel 3.7 Silikaatmüürikivide survetugevusklassid (EVS-EN 771-2) [49]

Survetugevuse klass	Normaliseeritud survetugevus (N/mm <sup>2</sup> )
5	5,0
7,5	7,5
10	10,0
15	15,0
20	20,0
25	25,0
30	30,0
35	35,0
40	40,0
45	45,0
50	50,0
60	60,0
75	75,0

Purustav survekatsed on katsed, mille käigus rakendatakse elemendile staatiliselt suureneva koormusega jõudu kuni elemendi purunemiseni. Katsete tulemusi on hiljem võimalik võrrelda visuaalse hindamise ning samuti ka mittepurustavate katsete tulemustega, võrdluse järgselt saab analüüsida taaskasutusvariante. Purustavad katsed sooritati raudbetoonelemendist välja puuritud betoonkärnidega ning silikaattellistega. Mõlema materjaliga tehti analoogne purustav katse survepressi vahel.

Survekatsete teostamiseks kasutati survepressi Form-Test Mega 7 (joonised 3.11 ja 3.12). Katsetamisel oli aluseks standard EVS-EN 12390-3:2019. Enne katsekeha asetamist pressi vahele veenduti, et katsemasina abiplaadid on tsentreeritud ning abiplaatide pind oleks väikestest kividest ning mustusest täielikult puhas, kiviosakesed võivad surve ühtlast jaotust häirida ning tagajärjena katsetulemusi muuta. Seejärel asetati betoonkärn või silikaattellis survepressi vahele ning hakati seda koormama kiirusega  $2,0 \pm 0,2$  kN/s. Katsekeha koormati nii kaua, kuni saavutati täielik purunemine ehk masina ekraanil koormusnäit enam ei suurenenud ning oli visuaalselt näha suuri läbivaid mõrasid katsekehas.

Survetugevus arvutati valemiga:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Kus,

$f_c$  on survetugevus, MPa (N/mm<sup>2</sup>);

F on maksimaalne purustav jõud, N;

$A_c$  on katsekeha ristlõikepind, millele survejõud mõjub.

Survetugevus esitati täpsusega 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>).

Pärast katsekeha purunemist leevendati survepressilt koormus ning purunenud katsekeha teisaldati, survepressi abiplaadi pindala puhastati harjaga ära ning alustati järgmist katset.



Joonis 3.11 Foto survepressist Form-Test Mega 7 ning katsetatavast silikaattellisest



Joonis 3.12 Foto survepressi vahel olev silikaattellisest



### 3.3.6 Mittepurustav survetugevus.

Hoone analüüsimise ja andmete kogumise vältel ei ole alati võimalik läbi viia purustavaid katseid, näiteks puuduvad katsealuse hoone objektile selleks vajalikud seadmed, laborisse ei saa katsekehasid viia või puudub selleks aeg. Sellistel juhtudel on võimalik teostada mittepurustavaid katseid, kuid peab siiski silmas pidama, et purustavad ja mittepurustavad katsed ei pruugi korrelatsioonis olla.

Keskpuiestee 43 objekti mittepurustav katsetamine teostati vastavalt standardile EVS-EN 12504-2:2021 [50]. Mittepurustavad katsed viidi läbi tootja Proceq pörkevasaraga Digi Schmidt 2000 mudeliga ND (Joonis 3.13). Pörkevasara löögi energia on 2,202 Nm ning on mõeldud konstruktsioonelementidele paksusega 100 mm ja rohkem. „Pörkevasara tööpõhimõte on vedru jõul liikuma pandud mass lööb katsetamiseks ettenähtud konstruktsiooni või katsekeha pinnaga kontaktis olevale otsikule. Katsetulemuseks on pikkusühikutes väljendatud massi tagasipörke suurus.“ [50]



Joonis 3.13 Šveitsi tootja Proceq Pörkevasar Digi-Schmidt 2000 [51]

Digi-Schmidt 2000 pörkevasarat kasutati peamiselt kahel erineval katsel:

- 1) katseid teostati vastu silikaattellisest välisvoodri müüritist horisontaalsuunas, seadet suruti vastu müüritist, kuni toimus vasara löök (joonis 3.14);
- 2) katseid teostati vastu kolmandal korrusel asuva korteri õõnespaneeli. Asukoht sai valituks, kuna selles korteris puudus põrandakate ning paneelid olid paljastatud.

Kõik pinnad puhastati eelnevalt raudharja ja lihv Luisuga tolmust, mördist ja üldisest mustusest. Oluline on siinkohal märkida, et pörkevasaral puudub funktsioon

silikaattelistest müüritise katsetamiseks, seega olid kõik välisvoodri katsed eksperimentaalsed.

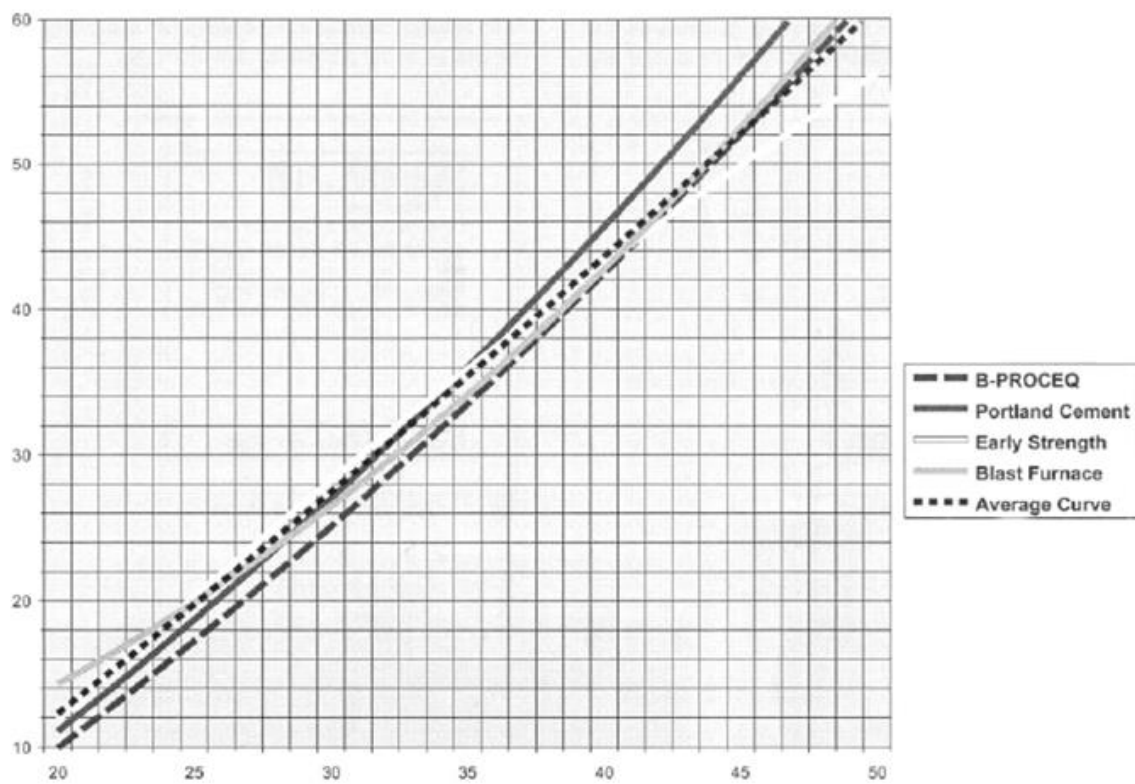


Joonis 3.14 Foto mittepurustavast pörkevasara katsest vastu Keskpuiestee 43 silikaatellismüüritise väliskoorikut (vasakul); uuritav silikaatkivi pind peale pörkevasara katset (paremal) (Fotod: M. Kiviste)

Üks pörkevasara katseseeria koosnes 12-st löögist vastu katsetatavat pinda, usaldusväärse tulemuse saavutamiseks on standardi EVS-EN 12504-2:2021 kohaselt nõutud minimaalselt 9 kehtivat lugemist. Lugem loetakse kehtetuks kui üle 20% lugemistest erineb mediaanist rohkem kui 30% võrra. [50] Kasutatud seadmel oli sisestatud funktsioon, mis seda automaatselt arvesse võttis. Katseseadme tulemusi ei saa samuti arvestada juhul kui:

- 1) löögipunktide kaugus teineteisest ja servast jääb alla 25mm;
- 2) vasaralöök põhjustab purustatud pinna.

Silikaatellistelt saadud pörkearvu teisendamisel betoonkärnide survetugevuseks kasutati teisenduskõverat B-Proceq (joonis 3.15). Enne katse alustamist oli seadmel Digi-Schmidt 2000 teisendusfunktsioon B-Proceq juba sisestatud, seade arvutas selle põhjal kohe survetugevused.



Joonis 3.15 Põrkevasara Proceq Digi-Schmidt 2000 teisenduskõverad. Graafiku horisontaalteljel on näidatud põrkearvude mediaan ning vertikaalteljel prognoositavad survetugevused ( $\text{N/mm}^2$ ). Käesolevas uuringus kasutati teisenduskõverat B-Proceq [51]

### 3.3.7 Kaitsekihi paksus.

Betooni kaitsekiht on üks olulisemaid parameetreid raudbetoonelementide valmistamisel, sest betoonkaitsekiht peab tagama [52]:

- 1) kindla nakkejõudude ülekandmise betooni ja armatuuri vahel;
- 2) konstruktsiooni piisava tulekindluse;
- 3) armatuurterase küllaldase korrosioonikaitse.

Puurkatsekehade ülevaatusel avastati, et trepimademe alumisest osast puuritud katsekeha (4A) sisaldas osaliselt armatuurterast (Joonis 3.16). See andis võimaluse mõõta ühel katsekehal betoonist kaitsekihi paksuse – kauguse betooni pinnast armatuurterase lähima pinnani. Katsekeha 4A betoonkaitsekiht mõõdeti metalljoonlaua abil viiest kohast piki armatuurterase serva. Lisaks sai hinnata armatuurterase seisundit korrosiooniohtlikkuse seisukohalt.



Joonis 3.16 Armatuurterasega katsekeha 4A



## 4. KATSETE TULEMUSED JA ANALÜÜS

### 4.1 Visuaalne hindamine.

Kiviõlis paikneva Keskpuiestee 43 silikaatkivimüüritiste seisunditegurit on visuaalselt hinnatud nii väljastpoolt kui ka seestpoolt. Süstemaatiline visuaalne hindamine toimus novembris ja detsembris 2021, kuid tehti ka vahepealseid täpsustavaid hindamisi. Objekti külastustel vaadeldi välisfassaadi ja hoonesisest müüritist (joonised 4.1 ja 4.2). Üldpildis oli silmnähtav, et müüritis täidab oma sihipärasest funktsiooni väga hästi ning välimus oli hoone vanust arvestades pigem korrektne, välisseinte välimine kiht oli katmata kuid külmumiskahjustusi ei esine. Sellegipoolest esineb fassaadil üksikuid defekte ning tavapärase kasutusega seotud kulumist. TTKK ja RKAS 2018 meetodika järgi saab selle kirjelduse põhjal anda müüritisele hinnangu  $S_i=2$ .



Joonis 4.1 Foto Keskpuiestee 43 hoone välisfassaadist.

Lähemal vaatlusel selgub, et vaatamata väga heale üldpildile, on fassaadis kindlates kohtades veidi erinev olukord. Hoone esimese korruse akende alumiste silluste all ulatusid silikaattellised kohati umbes 4-5 cm müüritisest väljapoole, mis tähendab, et nendele tellistele mõjus, vihmaveest tingituna, suurem niiskuskooormus, osade telliste puhul esines niiskuskahjustusi. Kuna nendel tellistel ei esinenud visuaalseid märke murenemisest, reaalselt ohtu lõplikuks hävinemiseks ega ka häireid nende töös ja/või funktsionaalsuses, on nende telliste hinne samuti TTKK ja RKAS 2018 meetodika järgi  $S_i=2$ .



Joonis 4.2 Lähifotod Keskpuiestee 43 silikaatkividest müüritise üldisest seisundist. [31]

Lisaks silikaatmüüritisele oli hoone välisfassaadi puhul võimalik täheldada ka akna aluseid raudbetoonsilluseid, need sillused loeti kokku ning määrati konkreetne hinne. Lähemal inspeksioonil selgus asjaolu, et sillused on väga hästi säilinud, üksikelemendid on uueväärilised ning töötavad ootuspäraselt (joonis 4.3). Sillustel esines minimaalseid defekte äärtes, kuid need olid väga väikesed, üldpilt oli korrektne. TTKK ja RKAS 2018 metoodika järgi saab selle kirjelduse põhjal anda sillusele kõrgeima hinnangu  $S_i=1$ . Eesti Põllumajanduse Akadeemias koostatud metoodika järgi saavad sillused samuti kõrgeima hinde 5, kuna sillused on terved ning korrosioonijälgi ei esine. Silluste spetsifikatsioon on toodud välja tabelis 4.1.

Tabel 4.1 Keskpuiestee 43 raudbetoonsilluste spetsifikatsioon

Toode	Ristlõige (mm)	Pikkus (mm)	Kogus (tk)	Korduskasutatav?
R/B-aknasillused	120x240	2100	135	JAH
R/B-trepikojasillus	120x240	2500	3	JAH
R/B-keldriaknasillus	120x220	1500	14	JAH
R/B-keldriuksesillus	120x220	1500	13	JAH

Loetluse tulemused on järgnevad: silluseid oli kokku 165 tükki, silluseid oli 3 erinevat tüüpi ning olid kasutatud mitmes erinevas kohas. Kokku oli 135 aknasillust, mis on 2100mm pikad, 120mm laiad ja 240mm kõrged. 3 trepikojasillust on 2500mm pikad, 120mm laiad ja samuti 240mm kõrged. Keldris vaadeldud akna ja- uksesillused olid kõik 1500mm pikad, 120mm laiad ning 220mm kõrged. Kõiki silluseid saab autori hinnangul korduskasutada.



Joonis 4.3 Näidifoto Keskpuiestee 43 raudbetoonist ülemisest aknasillusest (Foto: M. Kiviste).

Lisaks välisfassaadile hinnati visuaalselt ka hoone konstruktsioonide tehnilist seisukorda seestpoolt. Vaatlusringkäik hõlmas igat Keskpuiestee 43 korterit, igas korteris oli väga erinev olukord. Üldpildis oli silikaattellistele raske hinnangut anda, kuna seinad olid kaetud siseviimistlusega ehk krohvi ja/või värvi, tapeediga (joonis 4.4). Krohvikihi paksus oli varieeruv, mõõdeti 0,5 kuni 3 cm. Seinade siseviimistluse üldine tehniline seisund oli väga hea ja korrektne, esines juhuslikke defekte või tavapärase kasutusega seotud kulumist, mis võimaldab anda hinnangu  $S_i=2$ . Juhuslikult valitud korterites tehti ka pistelisi katseid, mille käigus eemaldati osaliselt tapeet või krohv. Üldiselt oli seisukord samuti väga hea, tavapärase kasutamise tunnustega, ehk samuti on hinnang  $S_i=2$ . Mõnes korteris olid siseseinad eemaldatud või osaliselt lahti lammutatud, nendes kohtades oli näha ohtu lõplikuks hävinemiseks, ning potentsiaalset häiret elemendi töös ja/või funktsionaalsuses, seetõttu saab müüritis nendes kohtades TTKK ja RKAS 2018 meetodika järgi hinde  $S_i=3$ . Keldrikorruse seinte silikaattellismüüritise ja lubjakivimüüritise tehniline seisund oli hoone vanusele vastav, esines tavapärase kasutusega seotud kulumist, seisunditegur,  $S_i = 2$  (TTKK&RKAS 2018 meetodika järgi). Mõeldav on keldriseinte uuesti kasutamine uue ehitise vundamendina.





Joonis 4.4 Fotod Keskpuiestee 43 korterite seinte siseviimistluse ja sisustuse seisundist (Fotod: M. Kiviste).

Lisaks silikaattellistele on Keskpuiestee 43 lammutatava hoone puhul väga suures mahus õõnespaneele. Õõnespaneelide tehnilise seisukorra visuaalse hindamisega paralleelselt toimus ka paneelide loendamine, millest selgusid paneelide erinevad tehnilised andmed. Raudbetoonist õõnespaneeli oli kokku 381, millest 313 tükki olid laiusga 120mm, 68 paneeli olid laiusga 80mm. Kõikide õõnespaneelide kõrgus oli 220mm ning pikkus 5000mm. Raudbetoon õõnespaneelide spetsifikatsioon on näidatud tabelis 4.2.

Tabel 4.2 Keskpuiestee 43 raudbetoonist õõnespaneelide spetsifikatsioon

Toode	Ristlõige (mm)	Pikkus (mm)	Kogus (tk)	Korduskasutatav?
Õõnespaneel 120mm	120x220	5000	284	JAH
Õõnespaneel 120mm	120x220	5000	29	EI
Õõnespaneel 80mm	80x220	5000	56	JAH
Õõnespaneel 80mm	80x220	5000	12	EI

Tehnilise seisukorra hindamisel vaadeldi hoone kõiki kortereid ning keldrit kogu ulatuses. Vaatluse tulemusena õnnestus anda enamustele paneelidele konkreetne hinnang. Paneelide hindamisel oli võimalik vaadelda ainult korterite ja keldri lagesid ehk õõnespaneelide alumist pinda, kuna paneelide ülemine pind ehk ülemiste korterite põrand oli kaetud põrandalaudisega. Lisaks sellele ei õnnestunud üksikutes korterites õõnespaneelidele konkreetset hinnangut anda, kuna laed olid kaetud teiste materjali kihtidega ja seal kus võimalik, eemaldati kihid. Üsikute kaetud paneelide korral määrati paneelile hinnang vastavalt lae viimistlusele. Kui viimistlusel ei esinenud silmaga



märgatavaid kahjustusi, oli alust eeldada, et paneel on samuti korras. Korterites ning keldris esines erineva laiusega õõnespaneele (120mm ja 80mm).

Lisaks kaetud laepindadele, on viies korteris ning ka mõningates keldri piirkondades toimunud põlengud, mille tulemusena olid tahmunud lagede ja seinte pinnad (joonis 4.5). Osade õõnespaneelide pind on põlengu tulemusel saanud kahjustusi murenemise näol, kuid läbipainde tunnuseid ei esine.



Joonis 4.5 Foto põlengutunnustega õõnespaneelide alumisest pinnast (I korrus korter 4) (Foto: M. Kiviste).

Keldrikorrusel esines lisaks põlemistunnustega paneelidele ka kehvema ehituskvaliteediga paneele, see tähendab, et üksikutel õõnespaneelidel oli betoon ebapiisava tihendamise järel urbse alumise pinnaga, lisaks esines mitmes paneelis 5-15 cm suuruseid auke (joonis 4.6). Mitmel paneelil oli paljastunud armatuurvõrk ja töötav armatuur, osadel paneelidel oli nurkadest ja servadest ära murdunud betoonkaitsekiht. Lisaks mõõdeti keldrikorruse kahe õõnespaneeli (vasaku ja keskmise trepikoja piirkonnas) paljastunud armatuuriga kohtadest silearmatuur läbimõõduga 10mm. Eelpoolmainitud muutuva ehituskvaliteedi tõttu ei ole välistatud, et õõnespaneelide valmistamisel võidi kasutada erineva läbimõõduga pikiarmatuure. Keldrikorruse õõnespaneelide vuugis mõõdeti ühes, paljastunud armatuuriga, kohas pikiarmatuur läbimõõduga 16 mm.

Vaatluse tulemused on järgnevad: 381-st raudbetoon õõnespaneelist said 340 paneeli TTKK ja RKAS 2018 meetodika järgi hinde  $S_i=1$  ning Eesti Põllumajanduse Akadeemias koostatud meetodika järgi kõrgeima hinde 5. 41 õõnespaneeli saavad TTKK ja RKAS 2018 meetodika järgi hinde  $S_i=3$  ning Eesti Põllumajanduse Akadeemias koostatud

metoodika järgi hinde 3, kuna nendel paneelidel esines põikarmatuuri korrodeerumist, mikro-põikpragusid, auke paneelides ja peaarmatuuri kaitsekihi maha pragunemist. Taaskasutuse vaatevinklist sobivad edasiseks kasutamiseks 284 120mm laiust paneeli ning 56 80mm laiust paneeli, ülejäänud õõnespaneele ei soovitata korduskasutada, kuna esinesid kahjustused: augud paneelides, paljastunud armatuur ning ebapiisav kaitsekiht.



Joonis 4.6 Fotod keldrikorruse laes asuvatest raudbetoonist õõnespaneelidest ja nende altpoolt visuaalselt eristatavatest kahjustustest, mille alusel õõnespaneele korduskasutada ei saa. (Fotod: M. Kiviste).

## 4.2 Karboniseerumise sügavus.

Tabel 4.3 Keskpuiestee 43 I korruse keskmise trepikoja raudbetoonmademest puuritud katsekehade karboniseerumissügavused

Katsekeha tähis	Karboniseerumissügavus (mm)										Keskmine	Standardhälve ( $\pm$ )
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1Ü (koos ker. plaadiga 8mm)	28	25	35	27	30	28	24	23	27	30	27,7	3,47
2Ü (koos ker. plaadiga 8mm)	27	30	26	30	25	26	19	24	23	29	25,9	3,41
3Ü (koos ker. plaadiga 8mm)	19	18	23	26	26	29	29	28	18	17	23,3	4,90
4Ü (koos ker. plaadiga 8mm)	39	40	39	28	27	31	28	23	23	30	30,8	6,43
5Ü (koos ker. plaadiga 8mm)	36	32	21	12	17	27	25	26	35	37	26,8	8,40
Keskmine											26,9	5,95
4A (avatud betoonpind)	51	45	46	46	47	44	49	51	45	44	46,8	2,66
5A (avatud betoonpind)	47	47	45	46	48	50	51	51	47	51	48,3	2,26
Keskmine											47,6	2,52

Tabelis 4.3 toodud karboniseerumissügavused näitavad selget erinevust keraamilise plaadiga (mis mõnedel katsekehadel oli osaliselt purunenud) kaetud trepimademe ülemise osa ja katmata (nö. puhas betoon) alumise osa vahel. Esiteks, trepimademe ülemise osa katsekehad olid keskmiselt vähem karboniseerunud (keskmine karboniseerumissügavus 26,9 mm) võrreldes avatud betoonpinnaga trepimademe alumises osaga (keskmine karboniseerumissügavus 47,6 mm). Teiseks, osaliselt purunenud ja purunemata keraamilise plaadi tõttu oli karboniseerumissügavuse standardhälve trepimademe ülemises osas võrreldes avatud betoonpinnaga oluliselt suurem. Lisaks trepikoja raudbetoonmademest puuritud kärnidele, mõõdeti karboniseerumist ka kolmanda korruse kahel õõnespaneelil. Tulemused puuduvad tabelist 4.3, kuna õõnespaneelid olid täielikult läbi karboniseerunud, ehk paneeli puhul ei olnud midagi võimalik mõõta. Õõnespaneelide täielik läbi karboniseerumine on kindlasti võimalik, kuna trepimade oli keskmiselt 74,5 mm (26,9+47,6 mm) karboniseerunud. Õõnespaneeli paksus on 220mm, kuid õõnsused olid paljudes kohtades välitingimustele avatud, mis tähendab õhu ligipääsu terve paneeli ulatuses.



### 4.3 Tiheduse ning purustava survetugevuse määramine.

Autori arvates on tihedus ja survetugevus omavahel väga tihedalt seotud, seetõttu esitatakse need tulemused koos.

Betoonkatsekehade survetugevuse määramise aluseks oli standard EVS-EN 12390-3:2019 [53]. Keskpuiestee 43 keskmise trepikoja trepimademest puuritud betoonkatsekehade tihedused ja survetugevused on esitatud tabelis 4.4 ning neid on näha joonisel 4.7.

Tabel 4.4 Keskpuiestee 43 keskmise trepikoja trepimademest puuritud betoonkatsekehade tihedused ja survetugevused

Katsekeha tähis	Tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Survetugevus (N/mm <sup>2</sup> )
1Ü	1993	11,6
2Ü	2018	13,8
3Ü	2006	12,3
4Ü	1881	8,8
5Ü	1960	12,4
<b>Keskmine/95 % tõenäosusega tagatud</b>	<b>1972</b>	<b>11,8 / 9,36</b>
4A	2113	19,3
5A	2109	18,4
<b>Keskmine/95 % tõenäosusega tagatud</b>	<b>2111</b>	<b>18,9 / 18,445</b>



Joonis 4.7 Fotod katsetatud betoonkärnidest ja purunemispilt.

Normaalbetooni tihedus ja survetugevus on spetsifitseeritud standardis EVS-EN 206:2014+A2:2021, normaalbetooni tihedus on vahemikus 2000 kuni 2600 kg/m<sup>3</sup>. Tihedusele 800 kuni 2000 kg/m<sup>3</sup> vastab kergbetoon. [47] Trepimademe ülemisest tasanduskihist puuritud betoonkatsekehade keskmine tihedus oli 1972 kg/m<sup>3</sup>, mis vastab pigem kergbetoonile. Tasanduskihi keskmine survetugevus oli 11,8 N/mm<sup>2</sup>, mis vastab tollaegsele betooni margile M100 (survetugevuse aritmeetiline keskmine 100 kg/cm<sup>2</sup> või kõrgem). Trepimademe alumise kihi keskmine tihedus oli 2111 kg/m<sup>3</sup>, mis vastab normaalbetooni tihedusele. ning keskmine survetugevus mõõdeti 18,9 N/mm<sup>2</sup>. Alumine kiht vastab tollaegsele betooni margile M150 (150 kg/cm<sup>2</sup>). Betooni klassi määramise aluseks on 95% tõenäosusega tagatud survetugevus. 95% tõenäosusega tagatud tugevuse statistiline väärtus leiti MS Excel keskkonnas kasutades funktsiooni PERCENTILE [54] eraldi trepimademete ülemisest ja alumisest kihist puuritud katsekehade survetugevustele. Tänapäeva kontsektis on sellise betooni liigitamine keeruline, kuna trepimademe ülemise kihi ühe katsekeha, 4Ü, survetugevus ei vasta isegi tänapäeva madalaimale betooniklassile C8/10. Trepimademe alumise osa survetugevus vastaks üsna nõrgale kaasaja betooni survetugevusklassile, C12/15. Võrdluseks, OÜ TMB element pakub trepielemente, mis oleksid vähemalt betooni tugevusklassiga C25/30 kuni C30/37 ehk vastavalt trepielemente standardile EVS-EN 14843:2007 [55].

Üldiselt võib järeldada, et Keskpuiestee 43 trepimademete betooni survetugevusnäitajad on suhteliselt madalad ning jäävad oluliselt alla kaasajal monteeritavatele elementidele. Seega võib tekkida probleeme raudbetoonist elementide selekteeriva demontaaži käigus, elementidesse võivad kergesti tekkida praod või muud mehaanilised kahjustused. Arvestades elementide laiusmõõtu, 900mm mis ei vasta tänapäeva evakuatsioonitee laiuse nõuetele (min. 1200mm), nende suhteliselt väikest kogust ja demontaaži keerukust, on autori arvates nende korduskasutuse potentsiaal pigem küsitav. Lisaks betoonkärnidele arvutati ka silikaatkivide tihedused ja survetugevused, tulemused on toodud tabelis 4.5 ning neid on näha joonisel 4.8.

Tabel 4.5 Silikaatkivide tihedused ja survetugevused

Katsekeha tähis	Tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Survetugevus (N/mm <sup>2</sup> )
1AL	1976	28,9
2AL	2020	35,5
1VP	1961	34,1
2VK	1944	40,8
3VV	1945	47,1
PÖ1	2016	40,5
4VV	2089	52,6

5VK	2008	44,1
6VP	1956	39,0
7VP	1925	33,3
8VP	1962	48,4
SS-11	1948	40,6
SS-12	1911	34,6
SS-13	1990	48,3
SS-14	1904	39,5
SS-15	1988	49,8
<b>Keskmine</b>	<b>1971</b>	<b>41</b>
Standard-hälve	46,9	6,8
Uus kivi (AS Silikaat)	1850...1950	M25 (u. 24,5 N/mm <sup>2</sup> )



Joonis 4.8 Foto katsetatud silikaattellistest ja purunemispilt

16 silikaatkivi keskmine tihedus oli 1971 kg/m<sup>3</sup>. AS Silikaat poolt toodetud kaasaja silikaatkivide tihedus peab olema vahemikus 1850 kuni 1950 kg/m<sup>3</sup> ning uute silikaatkivide tihedus vahemikus 1700 kuni 1900 kg/m<sup>3</sup> [56]. 15 silikaatkivi tihedus oli kõrgem kui 1950 kg/m<sup>3</sup> ja ühel juhul jäi tootjapoolsesse lubatud vahemikku. Kõikide 16 silikaatkivi tihedus vastas uue materjali tiheduse nõuetele. AS Silikaat poolt toodetud uute silikaatkivide survetugevuse mark peab olema M250 (aritmeetiline keskmine 250 kgf/cm<sup>2</sup>), mis on teisendatuna ligikaudu 24,5 N/mm<sup>2</sup>. Kõikide uuritud katsekehade survetugevused vastasid margile M250. Enamus katsekehasid vastasid ka kõrgematele tugevusmarkidele (M300, M350, M400). Seega vastasid kõik uuritud silikaatkivid uue silikaatkivi survetugevusnõuetele, enamus olles oluliselt tugevamad.

## 4.4 Mittepurustav survetugevus.

Keskpuiestee 43 objektilt kogutud 16-st katsekehast tehti kohapeal olles mittepurustavad pörkevasara katsed 8-le silikaattellisele, tabelis 4.6 on esitatud saadud tulemused, võrdluseks on toodud ka survepressiga tehtud purustavate katsete tulemused.

Tabel 4.6 Silikaattellismüüritise välimise kihi pinnal tehtud mittepurustava katse tulemused

Katsetatav pind (silikaattellise tähis)	Pörkearvude mediaan	Pörkearvude standardhälve	Mittepurustav survetugevus ( $N/mm^2$ ) (teisendusfunktsioon B-Proceq põhjal)	Purustav survetugevus ( $N/mm^2$ )
1VP	33,0	2,6	30,1	34,1
2VK	37,5	2,0	37,9	40,8
3VV	34,0	2,8	31,8	47,1
4VV	36,5	2,6	36,1	52,6
5VK	38,0	1,4	38,8	44,1
6VP	32,0	4,4	28,4	39,0
7VP	33,0	1,3	30,1	33,3
8VP	29,0	2,1	23,5	48,4
Keskmine:			32,1	42,4

Lisaks silikaattellistele õnnestus pörkevasaraga saada tulemus ka kolmanda korruse korteri õõnespaneelilt, tabel 4.7. Siinkohal tuleb märkida, et purustava survekatsega võrdlus puudub, sest õõnespaneelilt ei õnnestunud saada standardi nõuetele vastavat betoonkärni.

Tabel 4.7 Mittepurustava katse tulemused raudbetoonist õõnespaneeli ülemisel pinnal

Katsetatav pind (õõnespaneel)	Pörkearvude mediaan	Pörkearvude standardhälve	Survetugevus ( $N/mm^2$ ) (teisendusfunktsioon B-Proceq põhjal)
3.k keskm.osa	25,0	2,2	17,2

Tabelis 4.6 toodud mittepurustava katse tulemused uuritud silikaattellistel näitavad selgelt, et kasutatud teisenduskõver oli võrreldes purustava katse survetugevusega liiga konservatiivne. Keskpuiestee 43 õõnespanelidest ei õnnestunud nõuetele vastavaid katsekehasid välja puurida, mistõttu võrdlus õõnespaneelide purustava survetugevusega puudub.

Mittepurustavad katsetulemused silikaattellistega ja õõnespaneeliga näitavad, et sellise vana hoone materjali survetugevuse hindamiseks seadmes kasutatavad teisenduskõverad kahjuks ei toimi. Vaja oleks välja töötada sobivam teisenduskõver võttes aluseks materjalide purustava survekatse tulemused.

## 4.5 Kaitsekihi paksus.

Lisaks karboniseerumissügavusele sai, tänu põhjalikult teostatud katsekehade vaatlusele laboris, määrata ühel katsekehal (4A) ka armatuurterase kaitsekiht. Armatuurterase kaitsekihi paksus määrati viie mõõtmisega ning kihi paksuseks osutus keskmiselt 23,7mm, nagu näha ka tabelis 4.8.

Tabel 4.8 Keskpuiestee 43 I korruse keskmise trepikoja raudbetoonmademest puuritud katsekeha kaitsekihi paksus

Katsekeha tähis	Betonkaitsekihi paksus (mm)					Keskmine	Standardhälve
	1	2	3	4	5		
4A (avatud betoonpind)	23	24	24,5	24	23	23,7	0,67

Katsekehal 4A oli keskmine karboniseerumissügavus 46,8 mm, mis tähendab, et 23,7 mm kaitsekiht oli täies ulatuses läbi karboniseerunud, kuid sellegipoolest ei esinenud armatuurterasel korrosiooni jälgi.



## 4.6 Muud TTÜ-s teostatud uuringud.

### 4.6.1 Siseõhu mikrobioloogiline reostus.

Keskpuiestee 43 uuritav hoone on osa Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi hankest, mis tähendab, et hoonele tegid katselisi uuringuid, lisaks autorile ja Mihkel Kivistele, veel teised kogenud Tallinna Tehnikaülikooli teadlased.

Üks väga oluline katseline uuring teostati Tallinna Tehnikaülikooli Mehaanika ja tööstustehnika instituudi teaduri ja emeritprofessori Urve Kallavuse poolt. Keskpuiestee 43 objektil teostati mahukas siseõhu mikrobioloogilise reostuse analüüs. Analüüs on oluline, kuna selle tulemus mõjutab oluliselt lammutustööde protsessi ning materjalide korduskasutuspotentsiaali. Lisaks on vajalik teada, kas hoones esineb näiteks pöördumatuid biokahjustusi jne.

Katsed viidi läbi õues, korterites, hoone keldris ning keskmise trepikoja pööningul, kasutades mõõteseadet VPC300 video osakeste lendurit, millel on sisseehitatud kaamera. Mõõteseadet võimaldas mõõta õhus sisalduvate osakeste suurust ja sagedust, suhtelist õhuniiskust ning õhutemperatuuri. Mõõdeti osakeste kumulatiivset arvu, mis on suuremad kui 0,3; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 ja 10,0 µm. Mõõtmise tulemused on toodud Tabelis 4.9. [31]

Tabel 4.9 Õhus olevate osakeste kumulatiivse analüüsi tulemused (TTÜ Mehaanika tööstustehnika instituut) [31]

Mõõtetulemus Mõõtmise asukoht	0,3µm	0,5µm	1,0µm	2,5µm	5,0µm	10µm	AT (°C) *	RH (%)* *	DP (°C) ***
Õues	9738	2141	610	95	32	13	4,4	73,2	0,3
Kelder 1. viimasest trepikojast paremal pool	139201	33187	14432	4576	2610	1168	4,2	89,5	2,7
Kelder 2. keskmisest trepikojast paremal pool	102498	25655	11800	3742	2366	1035	4,4	87,3	2,6
Kelder 3. keskmisest trepikojast vasakul pool	169182	43303	21165	7024	4167	1871	5,2	82	2,5
Kelder 4. esimest trepikojast vasakul pool	260163	63334	27980	8520	5048	2133	4,4	84,3	2,1
Pööning 2. trepikoda	27682	6182	2375	766	513	292	4,1	79,3	1

\* AT – ruumiõhu temperatuur (*air temperature*)

\*\* RH – ruumiõhu suhteline õhuniiskus (*relative humidity*)

\*\*\* DP – kastepunkt (*dew point*)

Analüüsi tulemustest järeldub, et võrreldes välitingimustega, on keldrikorrusel õhus leiduvaid osakesi 27 korda rohkem kui normaaltingimustes, ehk siseõhk on keldris saastunud. Vähim osakesi mõõdeti pööningukorrusel, mis on välisõhule avatud. „Nii suur erinevus on peamiselt tingitud tolmuosakestest, mis tekkisid keldrikorruse sissepääsude avamisel ja puhastamisel igasugusest olme- ja ehitusprahist. Uste avamisel tekkis tugev tuuletõmme ning see levitas saasteosakesed keldrikorrusel laiali.“ Lisaks sellele märkis emer.prof. Kallavus, et keldrikorrusel viibimise ajal ning lammutustööde teostamise ajal on äärmiselt oluline kanda kaitseriietust ning kaitsemaski. [31]

Katselised uuringud reostuse määramiseks ei piirdunud ainult õhus sisalduvate osakeste analüüsiga, lisaks määrati TTÜ Mehaanika ja tööstustehnika instituudi laboris keldri õhu mikrobioloogilist saastatust. Õhuproovid võeti seadmega Biotest Hycon RCS Air Sampler. [31]

Emer.prof. Kallavuse analüüsist selgub, et „Keskpuiestee 43 hoones on tekkinud pikaajaline kütmata oleku tõttu olukord, kus hallitussente kasvu ei ole enam võimalik lihtsate võtetega peatada“. Väidetavalt teeb olukorda kehvemaks asjaolu, et külmade ning märgade kiviseintega ruum on kontaktis välisõhu ja tuulega, mis suurendab hoonesse sattunud hallitussente arengu kiirust. [31]

Hallitussente olemasolu põhjustab mitmeid suuri probleeme nende elementide taaskasutusele, sest bioloogiliste kahjustustega elementide korduskasutamine ei ole ohutu. Taaskasutuse mõistes selgus emer.prof. Kallavuse uuringust positiivne asjaolu, et keldris olevate materjalide pindadel ei ole hallituskahjustus väga oluliselt arenenud, sest betoon ja kivipind ei ole sobiv alusmaterjal hallituse arenguks. [31]

Kokkuvõtteks tõi emer.prof. Urve Kallavus välja, et peamised biokahjustused leiduvadki Keskpuiestee 43 keldrikorrusel, ülejäänud hoone ei ole nii tugevalt saastunud. Keldris on õhk saastunud hallitussente eostega. Saastatud õhu tõttu on saastunud ka tarindite materjalide pinnad, mistõttu tuleb korduskasutatavatel elementidel tähelepanu pöörata nende sanitaarsele puhastamisele. Puhastatud elemendid tuleb ladustada kuivades tingimustes. Emer.prof. Kallavuse sõnul on enne sanitaarset puhastamist oluline sulgeda õhu liikumine korruste vahel läbi ventilatsioonišaktide. [31]

## **5. TAASKASTUSVÕIMALUSED**

Käesolev peatükk keskendub Kiviõlis asuva Keskpuiestee 43 tüüpkorterelamu taaskasutusvõimalustele. Autor on otsustanud, et uuringu raames tuleb hoone selektiivselt demonteerida. Peatükis tehakse ettepanekuid, kuidas sellist lammutusviisi saaks teostada ning tehakse taaskasutamiseks individuaalseid ettepanekuid peamistele ehitusmaterjalidele, mida on hoonest võimalik kätte saada. Lisaks üldistele nõuannetele vaadeldakse ka erinevaid variante, kuidas saaks kandvaid elemente korduskasutada mingites teistes hoonetes või projektides.

### **5.1 Keskpuiestee 43 korterelamu selekteeriv demontaaž hoone osade kaupa.**

Selekteeriv lammutamine on hoone ettevaatlik lahti võtmine, mille käigus sorteeritakse, ideaaltingimustes, välja kõik kvaliteetsed materjalid ja konstruktiivsed elemendid [26]. Ideeliselt on selekteeriv demontaaž tagurpidi ehitamine, kus demontaaž algab katusest ning lõpeb vundamendiga, lammutatakse korruse kaupa. Selekteeriva demontaaži lõpus peaks olema hoonest alles vaid suur kogus hoonest saadud materjali ja raudbetonelemente. Aluseks on võetud „Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuuring“ esitatud ettepanekud [31], mida on täiendatud.

#### **Hoone ettevalmistamine demontaažiks**

Selekteerivat demontaaži on kõige otstarbekam alustada hoone põhjaliku koristusega, kus kõik vana mööbel, ukсед ja muud avatäited tuleks hoonest kõrvaldada. Selliselt tegutsedes ei ole võimalust, et need elemendid ülejäänud hoone demonteerimisel kahjustada saaksid ning lammutustöid segaksid. Keskpuiestee 43 hoone puhul on ukсед ja aknad väga kehvast seisust, ukсед on lõhutud ning aknad on puruks löödud. AINUÜKSI tööohutuse mõistes on vaja need elemendid hoonest eemaldada.

#### **Katus**

Pärast hoone ettevalmistamist demonteerimiseks, on järgmine samm eemaldada hoone katus. Katuselt eemaldatakse kate, antud juhul eterniit. Saadud eterniit ladustatakse tervete plaatidena, vältides nende purunemist – see ei pruugi võimalik olla, kuna plaadid

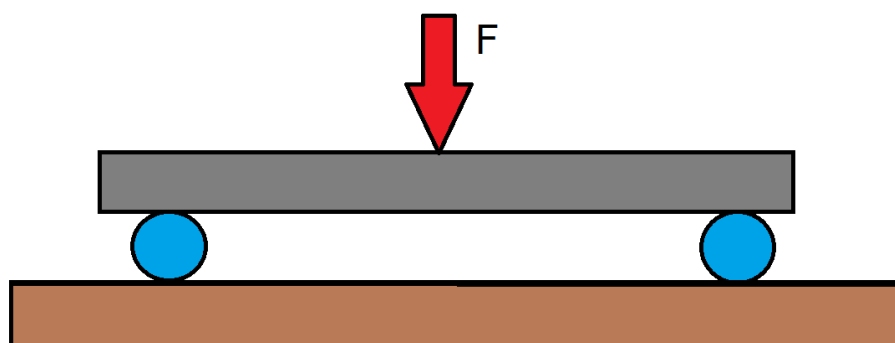
on ilmselt aja jooksul hapraks muutunud. Tööohutuse mõistes tuleb käsitleda neid plaate vastavalt nõuetele, kuna plaadid sisaldavad suure tõenäosusega asbesti. Eterniidi eemaldamise järel saab lahti monteerida katusekonstruktsiooni, kus korralikud elemendid ladustatakse ühte hunnikusse ning silmnähtavalt kahjustunud elemendid teise hunnikusse.

### **Vahelaepaneelid**

Vahelaepaneelide demonteerimiseks on vaja lõigata läbi monteeritavate õõnespaneelide vahelised vuugid. Selle jaoks sobib ketaslõikur. Vajadusel lõigata läbi ka otsavuugid, katuse vahelael seda sammu ei rakendata, kuid edaspidi küll. Paneelide tõstmiseks on ilmselt vaja konstrueerida omapärane tõstehark kraanale, mis võimaldab paneele kiirelt ja odavalt tõsta. Paneeli puuritakse 4 auku ning omapärase tõstehargiga hakatakse ühekaupa paneele hoonest lahti tõstma, kusjuures alustama peaks otsaseinast. Maha tõstetud paneelid ladustatakse vastavale laoplatsile hoone kõrval.

### **Õõnespaneelide kandevõime**

Õõnespaneelide maha tõstmisel oleks vaja pisteliselt kontrollida paneelide kvaliteeti. Visuaalsest uuringust selgus, et 381-st raudbetoon õõnespaneelist said 340 paneeli TTKK ja RKAS 2018 metoodika järgi hinde  $S_i=1$  ning Eesti Põllumajanduse Akadeemias koostatud metoodika järgi kõrgeima hinde 5. See tähendab, et altpoolt vaadatuna võiks 90% paneelidest olla korduskasutatavad. Visuaalne hindamine on aga subjektiivne, mis tähendab, et tegelikkuses on vaja nende paneelide kandevõimet kontrollida. Üks võimalik viis paneelide kandevõime kontrollimiseks on nende koormamine purunemiseni mingi mobiilse katseseadmega. Katseseade peaks olema võimeline tegema kolme punkti paindekatset. Näide võimaliku katseseadme tööpõhimõttest on näidatud joonisel 5.1.



Joonis 5.1 Kolme punkti paindekatse skeem: mõjuv punktkoormus  $F$  (punane), katsetatav õõnespaneel (hall), toestuskohad katseseadmepel (sinine), jääk aluspind (pruun).

## **Silikaatkividest seinad**

Silikaatkividest seinade demonteerimisel on kaks erinevat võimalust, sõltuvalt nende edaspidisest funktsioonist.

Esimene variant on lõigata seinad ketaslõikuriga moodulitena välja sarnaselt Taanis Carlsbergi pruulikoja jaoks. Enne mooduliteks lõikamist on vaja seintelt eemaldada siseviimistlus – krohv, tapeet, keraamiline plaat jne. Välja lõigatud moodulid tõstetakse omapärase tõstehargiga või mingisuguse raketisega. Seinamooduli struktuur peab igal juhul säilima. Seinamoodulite dimensioonid valida vastavalt võimalustele ja vajadustele.

Teine variant on lammutada tellised laiali kasutades piiki ning rakendada jäätmeid uue betoonsegu valmistamisel. Autori arvates on esimene variant eelistatud, kuna see variant on rohkem korduskasutuse ja selektiivse lammutamise vaimus. Teist varianti võib lugeda pigem tagavaraks, kui seinamoodul peaks purunema või tuleb ette mõni muu ootamatu tegur.

## **Kergseinad**

Korterisisised mittekandvad seinad gaasilikaltsiidist lammutatakse traditsioonilisel lammutusviisil. Lahtised või kergesti eraldatavad terved kergplokkid võib siiski kokku koguda.

## **Trepid ja mademed**

Treppide ja mademete demonteerimine teostatakse sarnaselt vahelaepaneelidele. Välja lõigatud trepid ladustada lammutusplatsil vastavasse kohta. Treppide välja lõikamisel peaks jälgima, et vahemademed tekitaks lisaastmed, kuna tänapäeval on korruste vaheline kõrgus erinev kui NSV Liidu ajal ehitatud tüüp korterelamutes. Kuna treppide laius on 1050mm, siis võib neid kasutada ühepereelamutes, kus trepi laius on minimaalselt 900mm.

## **Vundament**

Keskpuiestee 43 vundamenti saaks kasutada uue perspektiivse hoone rajamisel samale asukohale, kuid enne seda on vajalik teostada põhjalik sanitaarne töötlus. Hetkel on Keskpuiestee 43 keldris ning vundamendi kiviseinadel hallitus. Juhul kui otsustatakse, et vundament ei ole kasutuskõlblik uue vundamendina, tuleb see lammutada traditsioonilisel viisil.

## **5.2 Keskpuiestee 43 kasutamine potentsiaalse materjalipangana ning võimalike saaduste loetelu.**

Kiviõlis asuva Keskpuiestee 43 selektiivse lammutamise peamise eesmärgi on kaks:

- 1) võtta hoone laiali selliselt, et kätte saadud materjale oleks võimalik kasutada edaspidiste hoonete ehitamisel;
- 2) kasutada kätte saadud elemente olemasolevate renoveeritavate hoonete purunenud või kulunud elementidele asendustena.

Alljärgnevalt on lahti seletatud materjalipanga olemus, selle vajadus ning on loetletud potentsiaalsed saadused Keskpuiestee 43 hoonest.

### **5.2.1 Materjalipank.**

Ringmajanduse kasutuselevõtu puhul on üks olulisemaid samme materjalipanga loomine, kuna ainult nii on võimalik luua suletud süsteem. Lammutatavad hooned saavad olla kvaliteetsed doonorid uutele hoonetele.

Materjalipanga loomise ideed on kaalunud mitmed riigid, nende hulgas Madalmaad. Amsterdamis ringmajanduse strateegias rõhutakse valitsuse rolli materjalipanga loomisel. Valitsus peaks võtma laoplatši pakkuja rolli ning looma seadusandluse materjalide kvaliteedi tõendamiseks. Laoplatšid peaksid olema ideaaltingimustes paigutatud strateegiliselt optimaalsetesse kohtadesse, näiteks suuremate linnade äärealad või sadamaalad, kus materjalidega kauplemine toimub virtuaalselt. Virtuaalseid turgusid saaksid sirvida arhitektid ja insenerid, kellel oleks võimalus kasutada projekteerimisel ja planeerimised olemasolevaid tarindeid laoplatšilt. See eeldab muidugi, et olemasolevate tarindite kohta on virtuaalses keskkonnas väga palju infot: tüüp, ristlõige, kogus, päritolu, tugevusnäitajad jne. [24]

Eestis on ehitusmaterjalide korduskasutamisega ja materjalipanga loomisega, võrreldes rohkem arenenud Euroopa riikidega, mitmed eelised. Esiteks ei ole Eestis sama kõrge elatustase kui teistes Lääne-Euroopa riikides, mis sunnib väikeettevõtjad olukorda, kus ehitusprojektid on vaja ellu viia väga odavalt. Olukorra lahendamiseks on väikeettevõtjad hakanud väärtustama ehitus- ja lammutusjääke Soomest ja Norrast, näiteks: küttekoldeid, põrandamaterjale ja muid sisustustooteid. Need tooted on üldjuhul kvaliteetsed ja kasutatavad, kuid päritoluriikides puudub nende korduskasutamiseks üldiselt huvi või paigaldatakse klientide soovil uued tooted. [24]

Amsterdami ringmajanduse strateegias oli rõhutatud virtuaalturgude kasutusevõtu tähtsust. Teine eelis, võrreldes Lääne-Euroopaga, on asjaolu, et Eestis eksisteerib juba välja arenenud virtuaalturgude kultuur. Eestlased kasutavad virtuaalseid kinnisvaraportaale ja oksjonikeskkondasid vanade või kasutatud kaupade soetamiseks või müümiseks. [24] Virtuaalturgude kultuuri olemasolu tõttu ei teki Eestis ilmselt väga palju tõrkeid virtuaalsete materjaliturgude kasutuselevõtul.

Kolmandaks eeliseks on Eesti ehitusettevõtete paindlikkus ehitusmaterjalide asukoha suhtes. Hinnatundlikkuse tõttu on Eesti ehitusfirmad nõus tellima materjale naaberriikidest, eelkõige Lätist, Leedust ning vajadusel ka Poolast. [24] Arvestades seda asjaolu, on üks ringmajanduse võimalikest suundadest luua koostöös Balti ja/või Põhjamaadega ühine materjalipank.

Keskonnaministeeriumi korraldatud uuringu autorite hinnangul on Eesti ringmajanduse tulevik sarnane Amsterdami ringmajanduse strateegiale. Kasutusele on vaja võtta füüsilised laoplatid üle kogu Eesti, milledele eksisteerib virtuaalne turg. Materjalipankade laoplatse ja virtuaalset turgu haldab esialgu riik või kohalik omavalitsus. Ideaalne variant oleks luua rahvusvaheline süsteem. Materjalipanga loomisega kaasnevad potentsiaalsed kitsaskohad on tarbijate vähene huvi materjalide vastu ja laoplati kiire täitumine kõrge pakkumise ja madala nõudluse tõttu. Lisaks sellele oleks vaja konkreetset seadusandlust, mis käsitleb osapoolte vastutust, kvaliteedinõudeid materjalidele, dokumentatsiooni jne. [24]

### **5.2.2 Keskpuiestee 43 potentsiaalsed ehitusmaterjalide saadused.**

Visuaalse vaatluse käigus on autor kokku loetlenud kõik konstruktiivsed elemendid, mida oleks potentsiaalselt võimalik korduskasutada. Siinkohal peab märkima, et tegemist on peamiselt kandvate elementidega, kuna Keskpuiestee 43 hoone on pikalt tühjana seisnud. See tähendab, et enamus mööblit, ukсед, aknad, santehnika seadmed, radiatuurid on sealt juba demonteeritud ning minema viidud – hetkel on sisuliselt alles ainult hoone konstruktiivsed tarindid. Keskpuiestee 43 potentsiaalsed ehituselementide saadused on toodud tabelis 5.1.

Tabel 5.1 Keskpuiestee 43 potentsiaalsed saadused korduskasutamiseks

Ehituselement	Hinnanguline kogus	Ühik
R/B-aknasillused	135	tk
R/B-trepikojasillus	3	tk
R/B-keldriaknasillus	14	tk

R/B-keldriuksesillus	13	tk
Õõnespaneel 120mm	284	tk
Õõnespaneel 80mm	56	tk
Trepimademed	23	tk
Trepimarsid	21	tk
Silikaattellised	830	m <sup>3</sup>

Juhul kui hoonest ei ole võimalik terveid ehituselemente kätte saada, muutuvad need elemendid Jäätmekäitlusseaduse tähenduses ehitusjätmeteks. Tabelis 5.2 on väljavõte raportis „Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuring“, kus on loetletud kõik potentsiaalsed ehitusjätmed.

Tabel 5.2 Demonteerimise käigus tekkinud potentsiaalsete ehitusjätmete hulk jäätmekoodide ja -liikide ning mahu alusel [31]

Jäätme-kood	Jäätmeliik	Hinnanguline kogus	Ühik	Tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Kogus (t)
17 01 01	Betoonitükid kuni 0,5m	650	m <sup>3</sup>	2300	1495
17 01 01	Kivid - silikaatkivi	830	m <sup>3</sup>	1900	1577
17 01 01	Kivid - tuhaplokid	150	m <sup>3</sup>	1250	188
17 01 03	Plaadid ja keraamikatooted	2	m <sup>3</sup>	1000	2
17 02 01	Puit (liigiti kogutud töötlemata puit, raskmetalle ja halogeenorgaanilisi ühendeid mitte sisaldav)	50	m <sup>3</sup>	500	25
17 02 04	Puit (ohtlike aineid sisaldav või nendega saastunud)	70	m <sup>3</sup>	500	35
17 02 02	Klaas	2	m <sup>3</sup>	2600	5,2
17 02 03	Plastijätmed	2	m <sup>3</sup>	1200	2,4
17 04 07	Metallisegud	2	t		2
17 01 01	Kivid ja pinnas – paekivi	150	m <sup>3</sup>	1800	270
17 09 04	Täitešlakk ehk räbu	65	m <sup>3</sup>	1800	117
17 06 01	Asbesti sisaldavad isolatsioonimaterjalid (torustiku isolatsioon)	8,9	m <sup>3</sup>	30	0,267
17 06 04	Isolatsioonimaterjalid (välisseina mineraalvatt jms)	27,1	m <sup>3</sup>	30	0,813
17 06 05	Eterniit või muu asbesti sisaldavad ehitusmaterjalid	5	m <sup>3</sup>	2050	10,25
17 09 04	Ehitus- ja lammutusegapraht	90	m <sup>3</sup>	1500	135



Mõlemat tabelit analüüsid on näha, et elementide muutumist ehitusjätmeteks peaks võimalusel maksimaalselt vältima, vastasel juhul tekib ainuüksi 3100 tonni ehitusjätmeid betoonitükkide ja silikaatkivide näol. Autori arvates ei ole 100% ehituselementide kätte saamine hoonest tõenäoline, mis tähendab, et reaalne ehituselementide ja ehitusjätmete hulk on kombinatsioon mõlemas tabelis toodud mahtudest. Tõenäoliselt õnnestub kätte saada ehituselemente materjalipanga jaoks, kuid kindlasti tekib ka palju ehitusjätmeid.

### **5.3 Üldised taaskasutusvõimalused peamistele ehitusmaterjalidele.**

Alljärgnevas peatükis on välja toodud taaskasutusvõimalused Keskpuiestee 43 hoonest potentsiaalselt kätte saadavatele elementidele ja materjalidele. Peatüki koostamisel on aluseks võetud „Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuuring“ esitatud ettepanekud [31], kuid neid on täiendatud. Lisaks TTÜ raportile on taaskasutusvõimalusi uuritud ka Elis Sõrmuse magistritööst nimega „Ehitise selekteeriv lammutamine ja materjalide korduskasutamine“ [26]. Siinkohal on tähtis märkida, et paljudel elementidel puudub korduskasutamist käsitlev standard, ettepanekud on puhtalt spekulatiivsed.

#### **Raudbetoonist sillused**

Silluste üldine seisukord on väga hea. Raudbetoonist silluseid on hinnanguliselt võimalik saada kokku 165 tükki. Elemendid on erinevate pikkustega, kusjuures 135 sillust on pikkusega 2100mm, 3 sillust on pikkusega 2500 ning ülejäänud 27 sillust on pikkusega 1500mm. Silluseid on võimalik korduskasutada renoveeritavates korterelamutes asendustena vanadele amortiseerunud sillustele. Lisaks on võimalik ladustada sillused materjalipankadesse, milledele on projekteerijatel ligipääs, mis tagab võimaluse kasutada neid uute hoonete projekteerimisel.

#### **Raudbetoon õõnespaneelid**

Õõnespaneelide seisukord on üldiselt väga hea, kuid esineb ka üksikuid paneele, millel on armatuurteras liiga korrodeerunud ning kohati puudub kaitsekiht. Enamus defektseid õõnespaneele asuvad keldris või korterites, kus on toimunud põlengud. Korduskasutusele suunatavaid õõnespaneele on hinnanguliselt kokku 341, millest 284 paneeli on laiusega 120mm ning 56 paneeli on laiusega 80mm. Õõnespaneele on võimalik korduskasutada samal otstarbel nagu neid on siiani kasutatud, selleks on vajalik kontrollida paneeli vastavust kande- ja kasutuspiiriseisundile. Keldris või

korterites, kus on toimunud põlengud, leiduvad kahjustustega paneelid on võimalik purustada ning kasutada tagasitaitena või uue betooni valmistamiseks.

### **Silikaatmüüritised**

Silikaatmüüritise üldine seisukord on rahuldav, kohati esineb niiskuskahjustusi ja hallitust. Silikaatmüüritise välisvoodri paksus on 450mm. Silikaatmüüritisest siseseinad on 380mm paksusega. Müüritist on kokku hinnanguliselt 830 m<sup>3</sup>. Silikaatmüüritist on võimalik taaskasutada tellisseinast moodulite näitel, üksikute silikaatkividena või täiteainena uues betoonsegus. Silikaatmüüritist mooduliteks välja lõigates oleks esmalt vaja eemaldada müüritise välimine kiht koos aegunud soojustusega, alles jääb 300mm müüritise kandev osa, mida saaks kasutada moodulitena uue hoone fassaadi rajamiseks. Lisaks seintele on ka hoone korstnad laotud silikaatkividest, pideva ilmastikumõju tõttu on need väga kehvas seisus, soovituslik on taaskasutamine tagasitaiteks.

### **Gaassilikaltsiit**

Lisaks silikaatkivist siseseinadele on osad seinad laotud ka gaassilikaltsiit plokkidest. Plokid on üldiselt heas seisus, kuid kohati on plokid saanud kahjustada elektriseadmete ja juhtmete eemaldamisel. Plokkide paksus on 80 mm. Gaassilikaltsiit plokke saab taaskasutada kuivsegudes täitematerjalide osalise asendajana.

### **Paekivist vundament**

Paekivist vundamendi seisund on mitterahuldav, kuna puudub soojustus ja hüdroisolatsioon. Lisaks sellele on vundamendi seintel ulatuslikud niiskuskahjustused ja hallitus, mis on tingitud kõrge niiskusest keldris. Müüritise lubitsemementmört on samuti mitterahuldavas seisus – nake paekividega on kohati kadunud ning müüritis laguneb, sellega on kaasnenud ka betoonist sillutisriba hävinemine. Vundamendi kivi saab taaskasutada purustatud kujul killustiku tootmiseks või tagasitaitena, lisaks üksikuid kive võib olla võimalik taastada ning kasutada neid asendusena muudes paekiviehitistes.

### **Eterniidist katuseplaadid**

Katuseplaadid on üldiselt rahuldavas seisus, kuid kohati esinevad defektid või mõrad plaatides. Katusekate on moodustatud eterniitplaatidest, mis on probleemne prügi asbesti sisalduse tõttu, ning millede taaskasutamine ei ole keskkonnaameti poolt lubatud.

### **Trepid monteeritud raudbetoonist**

Raudbetoonist trepimarsid- ja mademed on üldiselt heas seisus, kohati esineb mõningaid defekte pragude ning paljastatud armatuurterase näol. Hoones on hinnanguliselt 23 trepimadet ning 21 trepimarssi. Treppe saab korduskasutada ühepereelamutes või purustada ning kasutada uue betooni täiteainena.

### **Hoones kasutatud puidust avatäited**

Üldiselt on hoones kasutatavad puidust avatäited väga halvas seisus. Enamus elemendid on läbi mädanenud ja hallitanud. Potentsiaalsed taaskasutatavad puitelemendid on hoones leiduvad korterite sisesed uksed – neid oleks võimalik korrastada ning kasutada uutes elamutes ustena või vanade uste asendusena. Hoones leiduvad puitraamidega aknad ei ole heas seisus ning need ei vasta tänapäeva energiatõhususnõuetele – nende taaskasutamine ei ole soovitatud.

### **Puidust põrandalaudis**

Puidust põrandalaudis on hoonesiseselt väga erinevas seisus, laudis on kohati heas seisus, halvas seisus, põlenud, lõhutud ja demonteeritud. Lisaks esineb kohati niiskuskahjustusi ja hallitust. Kõik hoones leiduv põrandalaudis tuleb demonteerida ning vastavalt kvaliteedile sorteerida. Kui demonteerimisel selgub, et mingi laudis on kahjustunud võib ta laagide küljest lihtsalt lahti lõigata, vastasel juhul peab laudise laudlaa haaval eemaldama. Laudasid saab korduskasutada uute põrandakatete ehitamisel, vanade laudiste asendamisel. [26]

Oluline on siinkohal märkida, et TTÜ raporti „Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusühe loomise käigus saadeti puidust põrandalauad EKUK kütuselaborisse analüüsimisele. Analüüside käigus selgus, et mitmete raskemetallide kontsentratsioonid olid laudistes ületatud. Labori hinnangul on laudise korduskasutamine seetõttu kõvasti limiteeritud. [31] Autor soovib nende laudiste korduskasutamisel ettevaatlik olla ning lähtuda ekspertide hinnangust.

### **Hoones leiduv klaas**

Hoones leidub enamjaolt ainult purustatud klaasikilde, üksikud säilinud klaasplaadid ustel ja akendel ei vasta tänapäeva nõuetele. Klaasi saab taaskasutada uue klaasi või vahtklaasi tootmiseks. [31]

## **Keraamiline plaat**

Keraamiliste põrandaplaatide üldine seisund ei ole rahuldav, kuna enamus plaatidest on lõhutud või kahjustunud. Lisaks sellele on põrandaplaadi eraldamine aluspinnast keeruline ning aeganõudev protsess. Sellegipoolest on keraamilisel plaadil taaskasutuspotentsiaali. Plaat on võimalik puhastada ning kasutada mosaiigina või purustatud kujul betoonis täiteainena [26].

## **Krohv**

Lubitsementkrohv on hoones säilinud üllatavalt hästi ehk üldine seisund on väga hea. Krohv on kohati 5-30mm paks. Olemasolevat krohvi saab taaskasutada uue krohvi kokku segamisel täiteainena [26].

## **Mööbel**

Korterites leiduv mööbel on üldiselt halvas või lõhutud seisus, kuna muu kvaliteetne mööbel on hoonest juba ära viidud. Mööbli inventeerimise käigus saab hinnata iga mööblieseme kvaliteeti ning teha taaskasutatavatele esemetele märked juurde. Korduskasutatavatest mööbliesemetest saab koostada nimekirja koos tehniliste andmetega. [26] Kasutuskõlblikud esemed saab viia näiteks taaskasutuskeskustesse.

## **Asfaltkate**

Asfaltkate on üldiselt rahuldavas seisus. Asfaltkate on täies ulatuses taaskasutatav uue asfaltbetooni tootmisel. [26]

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida lammutusele kuuluva tüüpkerterelamu kandvate tarindite kvaliteeti visuaalsel, mittepurustaval ja purustaval meetodil ning esitada ettepanekuid nende tarindite taaskasutamisele. Uuritav pilootprojekti hoone asub Kiviõlis, Keskpuiestee 43. Uuritavad tarindid olid: silikaattellisest müüritis, trepi ülemine ja alumine made ning õõnespaneelid.

Uuritavale hoonele teostati kohapeal visuaalne vaatlus määramaks uuritavate tarindite kvaliteeti, trepimademest betoonkärnide väljapuurimine ning nende karboniseerumise mõõtmine, silikaatkivide näol proovikehade võtmine ja viimaks Schmidti pörkevasaraga survetugevuse määramine silikaattellisele ja õõnespaneelile. Lisaks kohapealsetele katsetele teostati ka hulgaliselt laborikatseid. Laboris mõõdeti silikaattelistel nende dimensioonid, tihedused ning lõpuks survetugevused. Betoonkärnidel mõõdeti samuti nende dimensioonid, tihedused ja lisaks survetugevused survepressiga. Betoonkärnidel määrati lisaks veel karboniseerumissügavus ja betoonikaitsekiht. Kõik katsed sooritati vastavalt EVS- EN standardite põhimõtetele.

Esimene mittepurustav katse oli visuaalne hindamine. Vaatluse põhjal järeldati, et hoone tarindite seisund on üldiselt rahuldav. Silikaattellisest müüritisel on taaskasutatavad sisuliselt täies ulatuses. Sillustel esines minimaalseid defekte äärtes, kuid need olid väga väikesed, üldpilt oli korrektne – kõiki silluseid on võimalik korduskasutada. Tüüpelamu õõnespaneelidest saab korduskasutada 90% ehk 340 paneeli. Ülejäänud õõnespaneelidel esinesid augud paneelides, paljastunud armatuur ning ebapiisav kaitsekiht.

Teine mittepurustav katse teostati Schmidti pörkevasaraga. Katsetulemustest selgus, et sellise vana hoone materjali survetugevuse hindamiseks seadmes kasutatavad teisenduskõverad ei toimi. Mittepurustava katse tulemused uuritud silikaattelistel näitavad, et kasutatud teisenduskõver oli võrreldes purustaval katsel survetugevusega liiga konservatiivne. Keskpuiestee 43 õõnespaneelidest ei õnnestunud nõuetele vastavaid katsekehasid välja puurida, mistõttu võrdlus õõnespaneelide purustava survetugevusega puudub. Vaja oleks välja töötada sobivam teisenduskõver võttes aluseks materjalide purustava survekatse tulemused.

Kolmas mittepurustav katse teostati trepimademest puuritud betoonkärnidel ning õõnespaneelidel, kus mõõdeti karboniseerumise ulatust. Trepimademe puhul olid ülemine ning alumine kaitsekiht läbi karboniseerunud, kuid armatuurterasel korrosiooni

jälgi ei esinenud. Õõnespaneelid on suure tõenäosusega täielikult läbi karboniseerunud, kuna õõnsused on kohati avatud ilmastikutingimustele.

Lisaks mittepurustavatele katsetele viidi silikaattelliste ning trepimademe betoonkärnidega läbi ka purustavad katsed. Silikaattelliste puhul vastasid kõik uuritud katsekehad margile M250, mõningad isegi tugevusmarkidele M300, M350, M400. Seega vastasid kõik uuritud silikaatkivid uue silikaatkivi survetugevusnõuetele, enamus olles oluliselt tugevamad. Uuritud trepimademete seisund oli halvem. Üldiselt võib järeldada, et Keskpuiestee 43 trepimademete betooni survetugevusnäitajad on suhteliselt madalad ning jäävad oluliselt alla kaasajal monteeritavatele elementidele.

Kõikide uuringute tulemusena selgus, et Kiviõlis, Keskpuiestee 43 asuva hoone ehituskonstruksioonide korduskasutamisel on potentsiaali, kuid kaasneb palju aspekte, mida on vaja eelnevalt lahendada – tuleb luua standardid vanade tarindite testimiseks ning nende kasutamiseks uutes hoonetes.

## SUMMARY

The aim of this master's thesis was to study the quality of the load-bearing structures of a standard apartment building to be demolished by visual, non-destructive, and destructive methods and to submit proposals for the reuse of these structures. The building of the pilot project is in Kiviõli, Keskpuiestee 43. The structures to be surveyed were silicate brick masonry, upper and lower stairs, and hollow core panels.

The test building was visually inspected on site to determine the quality of the structures under investigation. In addition to that the site visit served another purpose – to drill out the concrete cores from the stairwell and measure their carbonation, to take samples in the form of silicate stones and finally to determine the compressive strength of the silicate stones and hollow-core slabs using the Schmidt hammer. In addition to field trials, several laboratory tests were also performed. The dimensions, densities and finally compressive strengths were measured on silicate bricks. Concrete cores were also measured for their dimensions, densities and for their compressive strengths using a pressure press. In addition, the carbonation depth and the concrete protective layer were determined for the concrete cores. All tests were performed according to the principles of EVS-EN standards.

The first non-destructive test was a visual assessment of the structural elements. The inspection concluded that the condition of the building's structures was generally satisfactory. Silicate masonry is essentially fully recyclable. The bridges had minimal defects at the edges, but they were very small, the overall picture was correct - all bridges can be reused. 90% or 340 panels of the hollow-core slabs can be reused. The remaining hollow-core slabs had holes in the panels, exposed reinforcement, and an insufficient protective layer.

The second non-destructive test was performed with a Schmidt hammer. The test results showed that the conversion curves used in the device to estimate the compressive strength of such an old building material do not work. The results of the non-destructive test on the silicate bricks tested show that the conversion curve used was too conservative compared to the compressive strength in the crushing test. It was not possible to drill out a compliant test specimen from the hollow-core slabs of Keskpuiestee 43, therefore there is no comparison with the crushing compressive strength of the hollow-core slabs. It would be necessary to develop a more appropriate conversion curve based on the results of the crushing pressure test of the materials.

The third non-destructive test was performed on the concrete cores and hollow core slabs drilled from the stairwell, where the extent of carbonation was measured. In the case of the stairwell, the upper and lower protective layers were carbonised, but there were no traces of corrosion on the reinforcing steel. The hollow core panels are likely to be completely carbonized, as the cavities are sometimes exposed to weather conditions.

In addition to non-destructive tests, crushing tests were performed with silicate bricks and concrete cores from the stairwell. For silicate bricks, all test specimens corresponded to the M250 grade, some even to the M300, M350, M400 strength grades. Thus, all the silicate stones studied met the compressive strength requirements of factory new silicate stone, most of them being significantly stronger. The condition of the staircases studied was worse. In general, it can be concluded that the compressive strength values of the concrete in the stairwells of Keskpuiestee 43 are relatively low and significantly lower than the elements that are assembled today.

As a result of all the research, it became clear that there is potential for reusing the building structures at Keskpuiestee 43, but there are many aspects that need to be addressed in advance - standards need to be set for testing old structures and using them in new buildings.



## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Euroopa Komisjon, "Eli ehitussektori ja selle ettevõtete jätkusuutliku konkurentsivõime strateegia." 2012, p. 26.
- [2] M. Yeheyis, K. Hewage, M. S. Alam, C. Eskicioglu, and R. Sadiq, "An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability," *Springer-Verlag*, pp. 81–91, 2012, doi: 10.1007/s10098-012-0481-6.
- [3] European Commission, "EU Construction and Demolition Waste Management Protocol," 2016. Accessed: Mar. 23, 2022. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/>.
- [4] World Bank Group, "International Comparison Program." <https://www.worldbank.org/en/programs/icp> (accessed Mar. 28, 2022).
- [5] Eurostat, "The 2017 results of the International Comparison Program," 2020.
- [6] Eurostat, "Waste statistics." [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics) (accessed Mar. 23, 2022).
- [7] Eurostat, "Recovery rate of construction and demolition waste." [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei\\_wm040/default/table](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm040/default/table) (accessed Apr. 29, 2022).
- [8] Cembureau, "Construction & Demolition Waste." <https://cembureau.eu/policy-focus/sustainable-construction/construction-demolition-waste/> (accessed Mar. 23, 2022).
- [9] U. Environmental Protection Agency, O. of Land, E. Management, and O. of Resource Conservation, "Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet Assessing Trends in Materials Generation and Management in the United States," 2020.
- [10] Holland Circular Hotspot, "Waste Management Country Report: Mexico," 2021.
- [11] Light House, "Residential Construction Waste Analysis," 2021.
- [12] B. Huang, X. Wang, H. Kua, Y. Geng, R. Bleischwitz, and J. Ren, "Construction and demolition waste management in China through the 3R principle," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 129, pp. 36–44, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2017.09.029.
- [13] R. Y. M. Li and H. Du, "Sustainable Construction Waste Management in Australia: A Motivation Perspective," pp. 1–30, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-12430-8\_1.
- [14] Hyder Consulting, "Construction and demolition waste status report - management of construction and demolition waste in Australia," 2011. <https://www.awe.gov.au/environment/protection/waste/publications/construction-and-demolition-waste-status-report> (accessed Mar. 28, 2022).
- [15] H. Yonetani, "Construction and Demolition Waste Management in JAPAN," 2011.
- [16] Rahandusministeerium, "Tühjenevate korterelamute projekt." <https://www.rahandusministeerium.ee/et/eesmargidtegevused/riigivara/tuhjenevate-korterelamute-projekt> (accessed May 09, 2022).
- [17] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, "Renoveerimislaine." <https://www.mkm.ee/ehitus-ja-elamumajandus/elamud-ja->

- hooned/renoveerimislaine (accessed May 09, 2022).
- [18] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, "Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia," 2020. Accessed: May 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.mkm.ee/media/155/download>.
- [19] Rahandusministeerium, "Lüganuse valla ruumilise kahanemise analüüsi kokkuvõte," 2020.
- [20] Keskkonnaministeerium, "Ringmajandus." <https://ringmajandus.envir.ee/et/ringmajandus> (accessed Apr. 02, 2022).
- [21] Keskkonnaagentuur, "Jäätmekäitluse trendid 2014-2018," 2020. Accessed: Apr. 28, 2022. [Online]. Available: [https://jats.keskkonnainfo.ee/failid/Jaatmekaitluse\\_trendid\\_2014-2018.pdf](https://jats.keskkonnainfo.ee/failid/Jaatmekaitluse_trendid_2014-2018.pdf).
- [22] K. D'Costa, "The History behind the King George III Statue Meme." <https://blogs.scientificamerican.com/anthropology-in-practice/the-history-behind-the-king-george-iii-statue-meme/> (accessed May 18, 2022).
- [23] Keskkonnaministeerium, "Riigi jäätmekava," 2010. <https://envir.ee/ringmajandus/jaatmed/riigi-jaatmekava> (accessed May 09, 2022).
- [24] Technopolis Group, "Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring. Lisa 1 - ehitussektor.," 2021. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: [www.technopolis-group.com07.juuni2021](http://www.technopolis-group.com07.juuni2021).
- [25] Euroopa Parlament, "Ringmajanduse tähendus, vajalikkus ja kasulikkus," 2015. <https://www.europarl.europa.eu/news/et/headlines/economy/20151201STO05603/ringmajanduse-tahendus-vajalikkus-ja-kasulikkus> (accessed Apr. 02, 2022).
- [26] E. Sõrmus, K. Kirtsi, and S. Lea, "EHITISTE SELEKTEERIV LAMMUTAMINE JA MATERJALIDE KORDUSKASUTAMINE," TalTech, 2014.
- [27] R. Wilson, "Old into new: Recycled bricks form facade of Copenhagen housing project," *Architects journal*, 2019. <https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/old-into-new-recycled-bricks-form-facade-of-copenhagen-housing-project> (accessed Apr. 21, 2022).
- [28] Alphabet, "Google Maps streetview," 2020. <https://www.google.com/maps/place/Lendager+Group/@55.6592958,12.5451535,17z/data=!4m5!3m4!1s0x465253f5c68d3f53:0xd68ff1fbeb68bfa1!8m2!3d55.6584036!4d12.5448928>.
- [29] M. Suviste, "Valgamaa kortermaja hakati teisaldama pealinna muuseumisse," *Postimees*, 2019. <https://lounapostimees.postimees.ee/6576890/valgamaa-kortermaja-hakati-teisaldama-pealinna-muuseumisse> (accessed Apr. 21, 2022).
- [30] A. Oll and K. Paalandi, "ENSV-AEGSE KIVIKONSTRUKTSIOONIST KORTERELAMU TRANSPORT JA KONTROLLARVUTUSED," TalTech, 2019.
- [31] S. Ilomets *et al.*, "Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuuring - 1. etapi vaheraport," 2022.
- [32] K. Langebraun, "TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL INSENERITEADUSKOND Tartu kolledž BETOONIJÄÄTMETEST TOODETUD KILLUSTIKU KASUTUSVÕIMALUSED BETOONSEGUEDES," TalTech, 2021.
- [33] Riigi Teataja, *Ehituseadustik*. 2015.
- [34] A. Coelho and J. de Brito, "Traditional vs. Selective Demolition - Comparative

- Economic Analysis Applied to Portugal," 2010.  
[https://www.researchgate.net/publication/283325683\\_Traditional\\_vs\\_Selective\\_Demolition\\_-\\_Comparative\\_Economic\\_Analysis\\_Applied\\_to\\_Portugal](https://www.researchgate.net/publication/283325683_Traditional_vs_Selective_Demolition_-_Comparative_Economic_Analysis_Applied_to_Portugal) (accessed May 22, 2022).
- [35] "Valga Priimetsa Kooli renoveerimine - Valga Vallavalitsus."  
<https://www.valga.ee/valga-priimetsa-kooli-renoveerimine> (accessed May 22, 2022).
- [36] M. Unt, "LAMMUTAMISELE KUULUVA HOONE BETOONTARINDITE KÜLMAKINDLUSE JA TUGEVUSE UURING," 2021.
- [37] "X-GIS 2.0 [maainfo]." <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo> (accessed Mar. 16, 2022).
- [38] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, "Ehitisregister."  
<https://ehr.ee/app/w/page?16> (accessed Mar. 14, 2022).
- [39] M. Purret and K. Sahk, "HOONETE TEHNILISE SEISUKORRA HINDAMINE JA SELLE SIDUMINE RENOVEERIMISE KULUKUSEGA NING RENOVEERIMISE OTSTARBEKUSE ANALÜÜS," EESTI MAAÜLIKOOL, 2014.
- [40] Tallinna Tehnikakõrgkool, "Hoonete tehnilise seisukorra hindamise juhend," 2018. Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:350752/310933/page/3>.
- [41] J. Miljan and T. Keskküla, "Välise vaatluse teel monteeritavate raudbetoonkonstruktsioonide hindamise meetoodika," Eesti Põllumajanduse Akadeemia, 1975.
- [42] Eesti Standardikeskus, "EVS 807:2016 - Kinnisvarakeskkonna juhtimine ja korrashoid." 2016, Accessed: May 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-807-2016>.
- [43] M. Kiviste, "Armatuurterase korrosioon ja selle mõju ribipaneelide kandevõimele," EPA, 2004.
- [44] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 12504-1:2019/AC:2020 - Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 1: Puursüdamikud. Võtmine, ülevaatus ja survekatse." 2019, Accessed: May 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-12504-1-2019-ac-2020>.
- [45] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 12390-7:2019 Kivistunud betooni katsetamine. Osa 7: Kivistunud betooni tihedus." 2019.
- [46] V. H. Jaan Rohusaar, Rein Mägi, Tiit Masso, Ivar Talvik, Valdo Jaaniso, Vello Otsmaa, Väino Voltri, Kalju Loorits, Tõnu Peipmann, Otto Pukk, Karl Õiger, Elmar Just, Alar Just, *Ehituskonstruktori käsiraamat*, 4. trükk. EHITAME kirjastus, 2014.
- [47] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 206:2014+A2:2021 Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus." 2021.
- [48] Silikaat AS, "Silikaattellised." .
- [49] Eesti Standardikeskus, *EVS-EN 771-2 Müürikivide spetsifikatsioon. Osa 2: Silikaatmüürikivid*. 2015.
- [50] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 12504-2:2021 Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 2: Mittepurustav katsetamine. Põrkearvu määramine," 2021. <https://www.evs.ee/et/evs-en-12504-2-2021> (accessed Apr. 08, 2022).

- [51] Proceq, *Concrete Test Hammer*. 2017.
- [52] TMB element, "Lisa 1 betooni kaitsekiht, keskkonnaklassid," 2013. <https://www.tmbelement.ee/wp-content/uploads/2016/05/Betooni-kaitsekiht.pdf> (accessed Mar. 16, 2022).
- [53] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 12390-3:2019 Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus." 2019.
- [54] M. Kiviste, "Matemaatiline statistika MS Excel keskkonnas." Tartu, 2021.
- [55] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 14843:2007 - Betoonvalmistooted. Trepid." 2007, Accessed: May 22, 2022. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-14843-2007>.
- [56] Silikaat AS, "Sertifikaadid." <https://silikaat.ee/sertifikaadid/> (accessed Mar. 16, 2022).